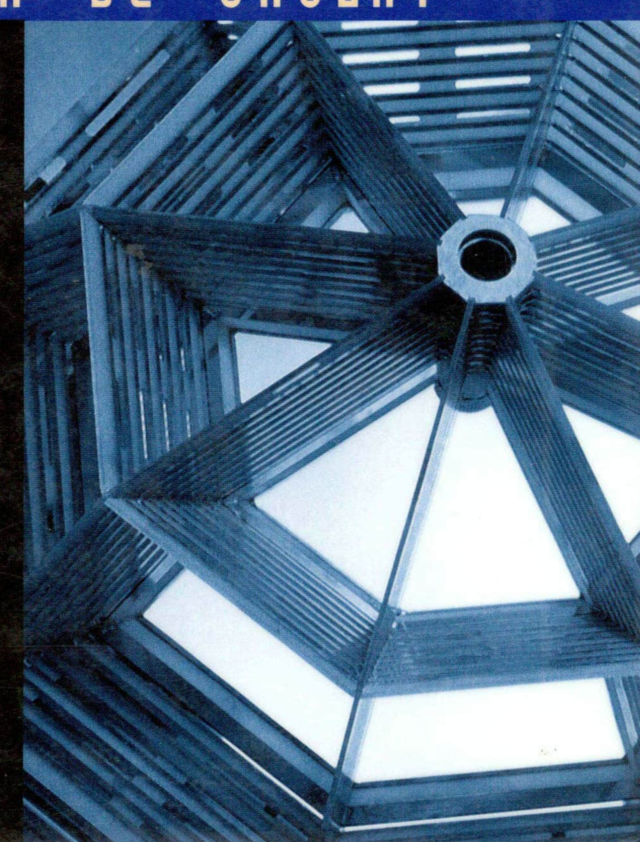
# Au cœur de la matière

## 50 ans de recherches au CEA de Saclay

Véronique Lefebvre

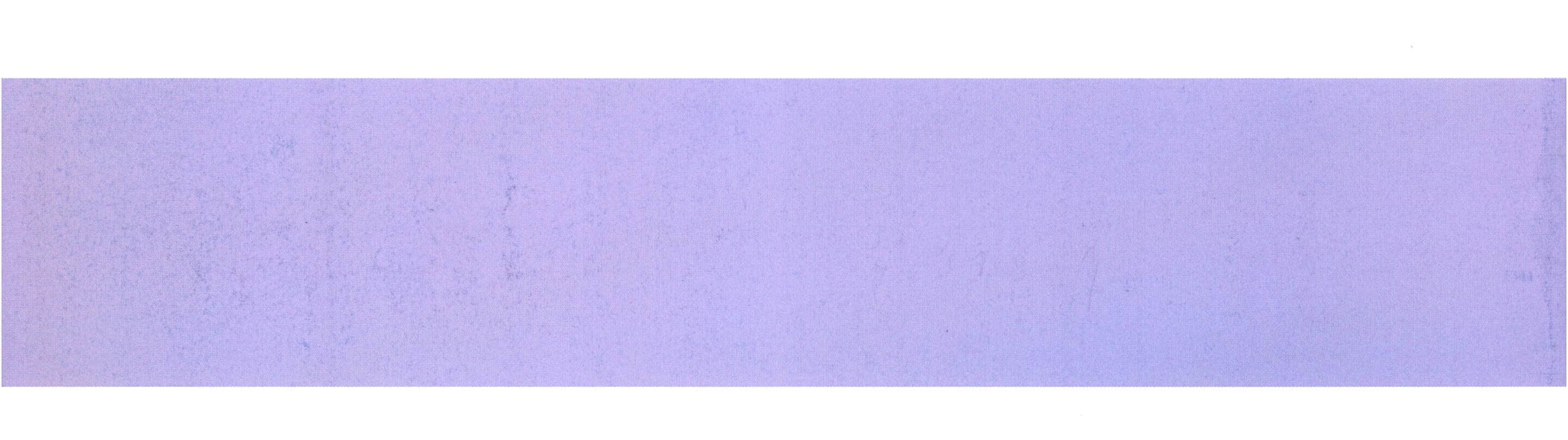






le cherche midi

# Au cœur de la matière




23, rue du Cherche-Midi 75006 Paris

Vous pouvez consulter notre catalogue général et l'annonce
de nos prochaines parutions sur notre site Internet :
cherche-midi.com




Véronique Lefebvre



# Au cœur de la matière

## 50 ans de recherches au CEA de Saclay



le cherche midi

# AVANT-PROPOS

Construit il y a maintenant 50 ans sur une terre à blé où aimaient se promener Irène et Frédéric Joliot-Curie, le Centre d'études nucléaires de Saclay est le fruit d'un formidable élan national impulsé par le général de Gaulle au lendemain de la Seconde Guerre mondiale par la création du Commissariat à l'énergie atomique.

À la recherche de son indépendance énergétique, riche des compétences et de la foi d'une poignée de savants et de hauts fonctionnaires, la France était désormais en marche sur le chemin de la recherche nucléaire et de ses applications.

Conçu pour durer, outil à la fois rationnel et humain, destiné à accueillir une communauté d'hommes et de femmes unis par une ambition collective, le Centre d'études nucléaires de Saclay a toujours été à la hauteur des défis pour lesquels il a été créé.

Creuset où se sont développées de multiples disciplines, élément clé de la construction de la capacité électronucléaire française, lieu où virent le jour des percées considérables pour la science, l'inventaire des contributions de Saclay au développement scientifique, économique et sociétal semble inépuisable.

Après tout cela on comprend mieux pourquoi, pour toute une génération de chercheurs, le seul nom de Saclay évoque l'atome, le souffle de l'aventure formidable de la recherche scientifique et technologique qui s'ouvre au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, dans un domaine de toute première importance pour la nation.

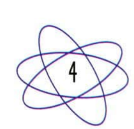
Aujourd'hui, physiciens, chimistes, biologistes de Saclay – plus de 5000 chercheurs – continuent de conduire, au sein de l'ensemble du CEA, des recherches de tout premier plan au niveau mondial. Ils entretiennent aussi, comme depuis l'origine, d'étroites relations avec des universités et d'autres organismes de recherche, permettant une coordination des travaux, une mise en réseau des compétences et une optimisation des moyens de l'effort de recherche national, et, de plus en plus, européen.

De la recherche fondamentale à la recherche technologique, les activités du Centre de Saclay concernent aujourd'hui des disciplines aussi variées que la physique nucléaire et des particules, la physique des réacteurs, la chimie, la métallurgie, l'électronique, la biologie, la climatologie et l'environnement... Saclay est aussi l'un des centres du CEA pionnier dans la mise en œuvre, pour ces recherches, de méthodes numériques de simulation. C'est enfin l'un des éléments structurants de la politique scientifique régionale, par ses collaborations locales avec d'autres établissements publics et privés.

Durant ces 50 années, le centre d'étude de Saclay a toujours su allier la recherche fondamentale et l'innovation technologique, par le développement de la connaissance et ses transferts vers l'industrie. Je suis certain qu'il saura relever les défis scientifiques, technologiques et sociétaux de demain.

Cet ouvrage rappelle toute la fougue, l'enthousiasme, le courage des hommes et des femmes qui ont fait de Saclay l'un des plus importants centres de recherche du CEA.

Pascal Colombani
Administrateur général du CEA



Après avoir fêté en 1999 le centième anniversaire de la découverte de la radioactivité et en 2000 celui de la naissance de Joliot-Curie, nous célébrons le cinquantième anniversaire du Centre d'études nucléaires de Saclay.
Le titre de cet ouvrage, *Au cœur de la matière*, évoque une très belle phrase de Francis Perrin : « *La science est la forme la plus élevée de la domination de la matière par l'esprit* ».
La construction du centre de Saclay débutait en août 1949, dès juin 1952 fut mis en service le premier accélérateur de particules français du type Van de Graaff et en octobre de la même année la deuxième pile atomique EL2, consacrée à la physique, la métallurgie et la production de radioéléments, notamment pour les applications médicales.
Le nom de Saclay conserve encore une consonance quasi mythique pour la majorité des Français. C'est là qu'au lendemain de la Seconde Guerre mondiale a été créé notre premier grand centre de recherche véritablement dédié au développement des applications de la physique nucléaire. Son adossement à une recherche fondamentale de qualité a été illustré par les travaux d'hommes de sciences de grande valeur tels que Anatole Abragam, Claude Bloch, Claude Fréjacques, Jules Horowitz, Albert Messiah… Leur apport relayé par l'ensemble des agents du CEA, caractérisés par l'enthousiasme de leur jeunesse, passionnés par leur mission et fiers de leur organisme, a contribué au niveau national et international à imposer l'universalité de l'approche scientifique dans les progrès de notre société.

Très vite le CEA fut amené à assurer un rôle de formation dans ces nouvelles disciplines en créant sur le site, en juin 1956 sous l'impulsion de Jean Debiesse, l'Institut national des sciences et techniques nucléaires.
Le succès du Centre de Saclay et de son extension à l'Orme des Merisiers, a dépassé toutes les espérances de ses fondateurs. Saclay se situe aujourd'hui au cœur d'un « mégapôle » scientifique qui regroupe sur le plateau une université et des grandes écoles prestigieuses, ainsi que des laboratoires des grands organismes de recherche. C'est un lieu privilégié de développement scientifique et technologique dont les domaines d'excellence s'étendent de l'infiniment petit à l'infiniment grand, de la particule élémentaire à l'univers et des nanotechnologies au réacteur nucléaire, sans oublier les sciences du vivant, la climatologie et tout ce qui nous permettra de contribuer à un développement durable et harmonieux de l'Humanité sur une planète qui restera longtemps, très longtemps, la seule habitable.

René PELLAT
Haut-commissaire à l'énergie atomique



# PRÉFACE

Le Centre d'études nucléaires de Saclay, comme on l'appelait à l'origine, a 50 ans aujourd'hui. Il a été associé dès ses débuts à une ambition nationale chère à Charles de Gaulle et à une poignée de savants et de hauts fonctionnaires visionnaires. Il fut pendant ses premières années le principal acteur de l'aventure industrielle et scientifique du Commissariat à l'énergie atomique, dans un contexte politique marqué par les nouvelles frontières issues de la guerre. Il est resté le plus grand centre d'études du CEA, et le plus divers. Son histoire méritait d'être contée avec le regard et l'indépendance d'esprit d'un historien.

Nous sommes en 1945 et la guerre est à peine terminée. La France, exsangue d'avoir été le théâtre des combats, doit reconstruire. Elle tire l'essentiel de son électricité du charbon d'une part, que les « gueules noires » extraient dans des conditions difficiles de mines qui seront bientôt épuisées, et d'autre part de ses barrages. Sa recherche a été gelée par la guerre et elle est encore tenue à l'écart des recherches nucléaires par les Anglo-Saxons, alors que la division du monde en deux blocs se prépare, prémice de la guerre froide.

Mais les compétences ne manquent pas. La physique de l'atome avait été bouleversée par trois fois en cinquante ans, avec de notables contributions de savants français. Première étape, dans les cinq dernières années du XIX[e] siècle, découverte des rayons X, de la radioactivité, de l'électron et de la radioactivité naturelle par Röntgen, Becquerel, Thomson et Pierre et Marie Curie. La matière n'était plus immuable et la physique classique, fondée sur la conservation de la masse et de l'énergie, était remise en cause. Puis Max Planck et Albert Einstein, entre 1903 et 1905, jettent les bases d'une nouvelle physique, celle de la mécanique quantique et de la relativité, qui sera étendue par de Broglie aux particules matérielles. Troisième coup de boutoir entre 1932 et 1935 : Chadwick découvre le neutron, Frédéric et Irène Joliot-Curie la radioactivité artificielle, Noddach et Szillard inventent le concept de réaction en chaîne. Enfin en 1939 Frédéric Joliot-Curie, Hans Halban et Lew Kowarski démontrent expérimentalement que la

fission d'un noyau d'uranium 235 s'accompagne de l'émission de trois neutrons: une réaction en chaîne est possible. L'énergie nucléaire est découverte.

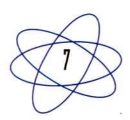
Pendant les périodes troublées de la guerre, des scientifiques français montrent qu'ils sont aussi des citoyens en mettant à l'abri leur savoir et les matériaux utiles à leurs expériences, uranium katangais et eau lourde norvégienne. Restés au pays comme Joliot-Curie ou émigrés en Amérique du Nord comme Lew Kowarski, Pierre Auger, Bertrand Goldschmidt, Hans Halban, ils seront à l'origine du renouveau des sciences nucléaires en France, dès la fin de la guerre. L'an I de la refondation est peut-être le 11 juillet 1944: ce jour-là, dans une arrière-salle du consulat d'Ottawa, Guéron, Auger et Goldschmidt informent le général de Gaulle du programme nucléaire américain et des perspectives ouvertes par la fission. Le 18 octobre 1945 il crée le Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Son statut, très particulier, est établi par Raoul Dautry et va marquer son action: le CEA est *« très près du gouvernement et pour ainsi dire mêlé à lui et cependant doté d'une grande liberté d'action »*.

Ces caractéristiques permettront un développement très rapide du Commissariat, malgré les pénuries, une industrie dévastée et la difficulté d'accéder à des matières et à des matériels mis sous embargo. Le comité à l'énergie atomique, organe suprême du CEA, décide dès les premiers jours avec Raoul Dautry, administrateur général, et Frédéric Joliot-Curie, haut-commissaire, la création d'un grand centre de recherche nucléaire. Ce sera Saclay. Mais il y a urgence et, pragmatiques, les dirigeants du CEA décident de monter les premiers laboratoires dans le fort désaffecté de Châtillon, à Fontenay-aux-Roses.

Fontenay-aux-Roses sera le royaume du bricolage et de l'imagination alors que tout manque. Il faut faire vite et se satisfaire de casemates sombres et humides, de hangars agricoles, et de beaucoup de matériels de récupération. Mais la foi et l'imagination d'une poignée de scientifiques sont telles que les bons compromis, les idées simples, seront trouvés. Avec un combustible rustique fabriqué sur place, et une « pile atomique », Zoé, imaginée par Goldschmidt et habilement dimensionnée par Kowarski, la première divergence est observée dès le 12 décembre 1948. Un réservoir humain formidable va se constituer auprès de Zoé et des laboratoires de Fontenay-aux-Roses jusqu'à la mise en service de Saclay en 1952.

Édifié en 1947 sur une terre à blé ouverte à tous vents, après bien des débats locaux, Saclay sera une autre aventure. Il ne s'agit plus d'un projet commando mais d'un projet d'envergure, conçu pour durer. À mi-chemin entre le campus de Berkeley et les phalanstères des utopistes, le Centre d'études nucléaires de Saclay, avec ses logements de la vallée, sera un haut lieu de travail et d'invention collectifs. Son cadre de vie, entre la Bièvre et l'Yvette, et la proximité des universités et des écoles parisiennes, du CNRS récemment créé, semblent particulièrement adaptés à Frédéric Joliot-Curie qui aimait se promener sur le plateau avec Irène. Saclay va bénéficier des acquis et de l'imagination des chercheurs de Fontenay. On sait ce qu'on veut y étudier, on veut tout y étudier, et cette polyvalence reste aujourd'hui encore sa marque de fabrique. Force est de constater que l'étendue des possibilités ouvertes par les sciences et techniques nucléaires était déjà pleinement perçue par cette communauté scientifique.

Le parti architectural d'Auguste Perret va intégrer l'ambition du projet et la variété des recherches. Il ordonne les bâtiments selon un plan rectangulaire laissant la place aux extensions futures, crée des points de rencontre et ouvre des ateliers lumineux et des laboratoires versatiles. En deux ou trois ans toutes les disciplines foisonneront – physique et chimie nucléaire, biologie, médecine, technologie – et seront intimement mêlées: *« Nous ne pouvons nous payer deux outils; théorie et pratique ont besoin des mêmes hommes et mêmes outils »* (Raoul Dautry). Pour sa part Francis Perrin estimait que *« les recherches sont indispensables au développement des programmes industriels futurs »* et, dès 1952, une direction industrielle est créée sous l'impulsion de Pierre Guillaumat.



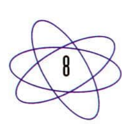
Pendant vingt ans le CEA, et Saclay en particulier, dominent largement les recherches nucléaires en France, de l'amont à l'aval. Il en résultera des percées scientifiques considérables, et les premiers éléments d'un développement industriel avec la filière des réacteurs graphite-gaz et le traitement de ses combustibles usés. Mais on défriche aussi dans d'autres directions: réacteurs à eau légère, rapide à sodium, à haute température, à sels fondus... C'est le temps des explorateurs, d'un CEA imaginatif, sûr de lui et au service des ambitions de l'état.

Mais c'est aussi le temps de l'émergence d'un pétrole roi et bon marché, même s'il y en a peu en France. L'état doit trouver un équilibre raisonnable entre indépendance énergétique – avec un charbon national qui vit ses derniers instants – et compétitivité pour produire une électricité essentielle au développement d'une économie moderne. Dans ce contexte, à l'orée des années 70, le CEA va profondément évoluer. Il devient le conseil et l'associé d'une industrie nouvelle qu'il contribue à créer, et qui prendra progressivement la pleine responsabilité de la construction des outils de production. C'est aussi le temps de révisions déchirantes, avec en particulier le choix par EDF de la filière des réacteurs à eau pressurisée, et l'abandon du développement de la filière graphite-gaz. Moins isolé, le CEA s'engage plus intensément dans des coopérations nationales et internationales, dans le domaine de la physique par exemple, et accentue son appel à une industrie qui est devenue très performante. Le centre de Saclay pour sa part n'est plus seul au sein du CEA, et les centres de province ont pris une importance considérable et disposent d'outils modernes. Les trente dernières années du siècle sont aussi marquées par la montée d'oppositions aux sciences et technologies nucléaires, qui culmineront suite aux accidents de Three Mile Island, puis de Tchernobyl. Malgré le soutien des gouvernements français successifs, soucieux de promouvoir une énergie nationale compétitive, les débats sont intenses et touchent tous les centres du CEA. Les mouvements antinucléaires freinent considérablement certains projets, les laboratoires d'étude du stockage en sites profonds par exemple, et obtiennent en 1997 l'arrêt de Superphénix, fleuron des réacteurs rapides à sodium. Le succès de l'industrie nucléaire française et sa contribution à une indépendance énergétique retrouvée ne suffisent plus (la France a produit en 2001 autant d'électricité avec ses centrales nucléaires qu'elle en a consommé!) et le CEA doit apprendre à expliquer et justifier ses programmes. Saclay ne sera pas en reste, qui reçoit des milliers de visiteurs chaque année, ouvre ses laboratoires, et crée dès 1995 le groupe de travail CEA Saclay et son environnement. En 1998, le président du Conseil général de l'Essonne officialise cette démarche et institue la Commission locale d'information (CLI).

Que seront les années 2000? Le devenir énergétique du pays est de nouveau en question car en deux ou trois générations le pétrole et le gaz auront été en grande part épuisés dans le monde et seront devenus le privilège de quelques-uns. L'effet de serre, dont l'impact semble aujourd'hui inéluctable, doit être freiné, puis maîtrisé. Une énergie nucléaire sûre, économe et efficace associée à toutes les énergies non émettrices de gaz carbonique est incontournable en France comme ailleurs. Notre industrie nucléaire détient des atouts considérables: elle est la plus complète aujourd'hui et les technologies nécessaires à la maîtrise de ses rejets et de ses déchets sont disponibles. Nous disposons de vingt ans, grâce aux acquis de nos prédécesseurs, pour imaginer et mettre au point les usines nucléaires du futur. Ce n'est pas trop et, juste retour des choses, bien des idées des années 50 et 60 vont resurgir, adossées à des procédés, technologies et matériaux modernes. Il ne faut plus se limiter à la simple production de l'électricité, et l'énergie nucléaire pourra par exemple fournir de la chaleur directement utilisable pour des usages domestiques ou industriels, contribuer à la production d'hydrogène comme comburant pour véhicules propres et à la satisfaction des besoins en eau douce des pays secs par dessalement des eaux saumâtres.

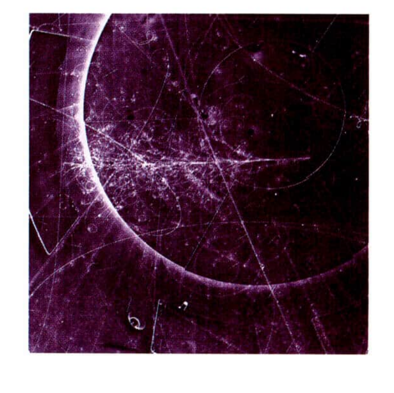
Les idées qui ont été à l'origine de la création du CEA restent pour l'essentiel nôtres. Science et industrie, théorie et pratique, doivent rester associées et s'enrichir réciproquement. Le contexte dans lequel évolue le CEA s'est considérablement modifié et a exigé un effort permanent d'adaptation de notre organisation. Nos interlocuteurs sont plus nombreux – ministères, départements et régions, communauté européenne – et le monde de la technologie est devenu plus ouvert et plus compétitif. Nos collaborations s'étendent à la terre entière. Le centre CEA de Saclay, centre polyvalent par excellence, poursuivra sa mission aux frontières entre la science et la technologie, entre les sciences nucléaires et les autres disciplines scientifiques. Intégré dans l'espace européen et une économie régionale en pleine expansion, il doit rester un centre de recherche de référence au niveau mondial, dans lequel des générations d'étudiants, techniciens, ingénieurs et scientifiques seront formés et créeront les technologies de demain.

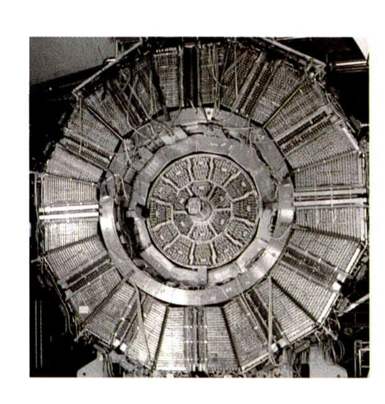
Jean-Pierre Pervès
*Directeur du centre CEA de Saclay*



# SOMMAIRE

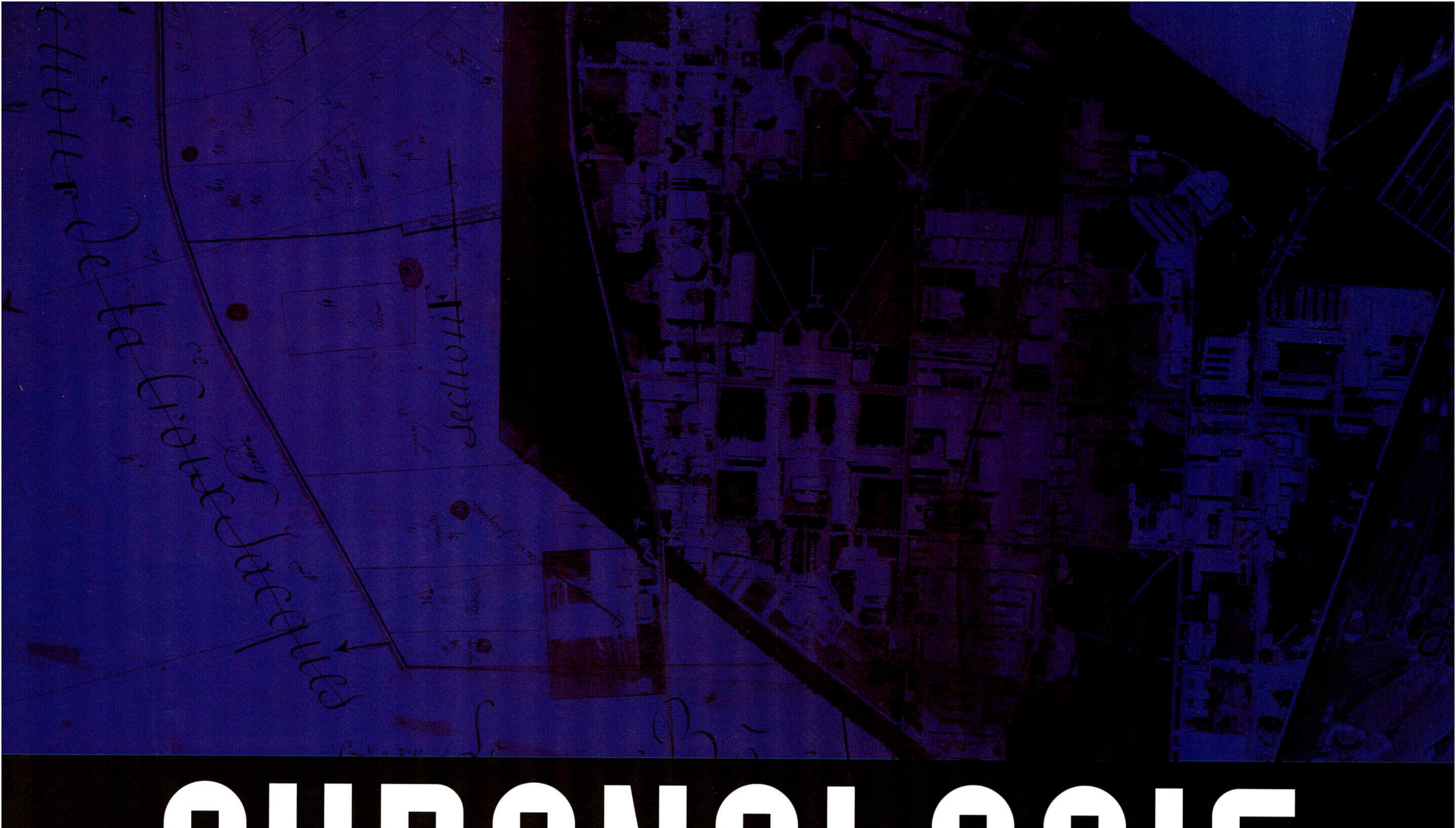












# CHRONOLOGIE

# 1945

❊ **8 mai :** armistice en Europe

❊ **9 août :** bombe d'Hiroshima

❊ **18 octobre :** signature de l'ordonnance de création du CEA par le général de Gaulle. Frédéric Joliot-Curie est haut-commissaire, Raoul Dautry administratif général.

# 1946

❊ **3 janvier :** mise en place du comité de l'énergie atomique

❊ **Mars :** installation du CEA au fort de Châtillon



# 1947

❊ **1er mai :** le CEA prend possession de 271 hectares sur le plateau de Saclay

# 1948

❊ **15 décembre :** divergence de la première pile atomique française Zoé (puissance Zéro, Oxyde d'uranium, Eau lourde) au fort de Châtillon





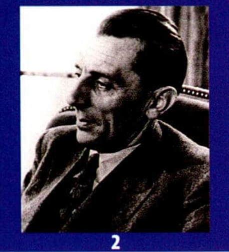
1 ∴ Albert Einstein et Paul Langevin.
2 ∴ Frédéric Joliot-Curie.
3 ∴ Essais nucléaires américains sur l'atoll de Bikini.

4 ∴ Presse du 16 décembre 1948.
5 ∴ Caricature anti-américaine du plan Marshall.




6 ∴ Pierre Sabbagh présente le premier journal télévisé.
7 ∴ Barrage de Génissiat.

8 ∴ Début de la pointe Bic.
9 ∴ Première session à l'UNESCO des États européens pour la recherche nucléaire.








# 1949

❊ **1er août :** début de la construction du Centre d'études nucléaires de Saclay

# 1950

❊ **28 avril :** Frédéric Joliot-Curie quitte le CEA



10 ∴ Premiers forages sur le site de Saclay.

# 1951

❊ **19 avril :** Francis Perrin est nommé haut-commissaire

❊ **14 juin :** Jules Guéron devient directeur du centre de Saclay

❊ **21 août :** Raoul Dautry décède à Lourmarin

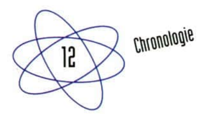
❊ **8 novembre :** Pierre Guillaumat devient administrateur général

# 1952

❊ **Juin :** mise en route à Saclay du premier accélérateur de particules construit sur le modèle américain Van de Graaff

❊ **Loi du 24 juillet :** adoption du premier plan quinquennal nucléaire français (1952-1957)

❊ **21 octobre :** la pile EL2 diverge à Saclay



# 1953

- Mise en service du cyclotron à Saclay


11

# 1955

- Mise en service de l'usine de traitements des effluents de Saclay
- **Juin :** Création du centre de Vaujours
- **Juillet :** Création du centre de Bruyères-le-Châtel
- **Septembre :** Mise en service progressive à Saclay des Laboratoires de haute activité (LHA)
- **Octobre :** Inauguration du centre de Marcoule

# 1956

- **7 janvier :** divergence du premier réacteur plutonigène G1 à Marcoule
- **18 juin :** création de l'INSTN (Institut national des sciences et des techniques nucléaires) à Saclay

# 1957

- **25 mars :** Signature à Rome du traité Euratom
- **4 juillet :** La pile EL3 diverge à Saclay (filière eau lourde)
- **10 juillet :** Création du centre de Valduc
- **Décembre :** démarrage du pilote PS1 (procédé de diffusion gazeuse) à Saclay

**11** ∴ La mythique DS des usines Citroën.
**12** ∴ INSTN.
**13** ∴ Lancement du paquebot *France*.

**14** ∴ LECI, Laboratoire d'examen de combustibles irradiés
**15** ∴ Youri Gagarine est le premier homme dans l'espace.
**16** ∴ Inauguration du bâtiment des radioéléments à Saclay.

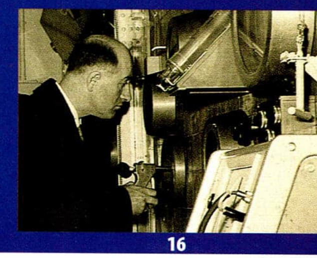
12

13



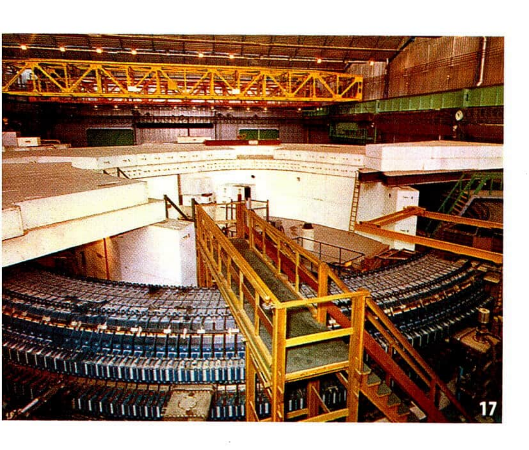
14


15


16

# 1958

- **12 août :** mise en service à Saclay du synchrotron Saturne inauguré par le Président René Coty


17

**17** ∴ Saturne I.

# 1959

- **26 Janvier :** Inauguration du centre de Grenoble
- **9 avril :** inauguration du service hospitalier Frédéric Joliot implanté dans l'hôpital d'Orsay
- Mise en service du Laboratoire d'examen des combustibles irradiés à Saclay

# 1960

- **1er janvier :** Rattachement au CEA du centre de Limeil
- **13 février :** première explosion nucléaire française à Reggan au Sahara : opération baptisée "Gerboise bleue"
- Démarrage de la construction de l'usine de séparation isotopique de Pierrelatte


18

**18** ∴ Naissance du « nouveau franc ».
**19** ∴ Réacteur Ulysse à Saclay pour l'enseignement.


19

# 1963

15 mars : premier fonctionnement du Van de Graaff tandem à Saclay

**30 mai :** inauguration du centre de Cadarache

Création du centre de Ripault



# 1964

**14 août :** divergence à Caradache du réacteur PAT (prototype à terre) qui équipera le premier sous-marin à propulsion nucléaire français, Le *Redoutable*

# 1965

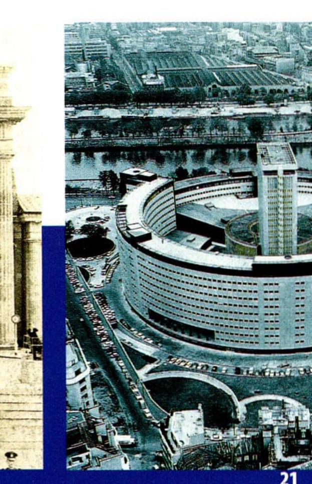
**1er octobre :** ouverture officielle du Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine

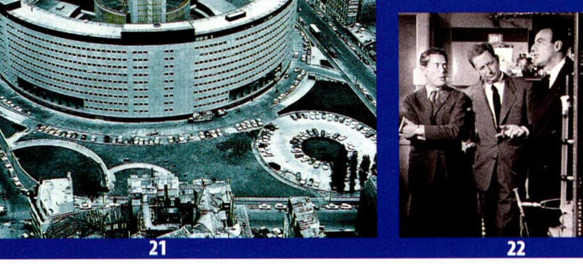
# 1966

**9 décembre :** inauguration du réacteur piscine Osiris à Saclay par Alain Peyrefitte, ministre d'État

**20** ∴ John Fitzgerald Kennedy à Berlin.
**21** ∴ Inauguration de la maison de la Radio.

**22** ∴ Prix Nobel de médecine : Jacques Monod, André Lwoff et François Jacob.
**23** ∴ Sphère de la centrale de Chinon.
**24** ∴ Armstrong pose le pied sur la Lune.


20


21

22


23


24

# 1968

Mise en service du site de l'Orme des Merisiers à proximité du centre de Saclay

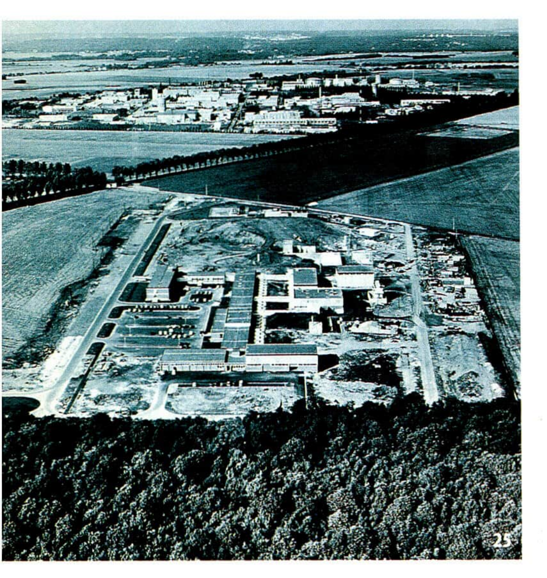
# 1969

**19 février :** inauguration de l'Accélérateur linéaire de Saclay (ALS), à l'Orme des Merisiers

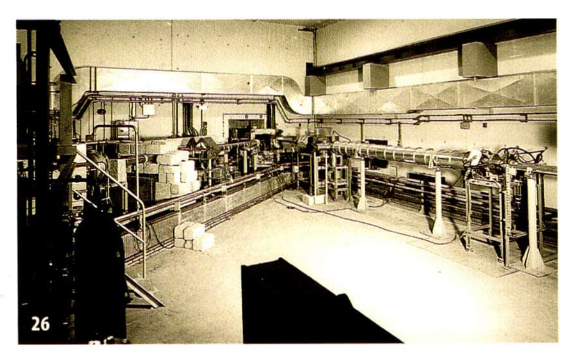
# 1970

**26 juin :** inauguration du Laboratoire d'analyse par activation Pierre Süe (CEA-CNRS) à Saclay

**29 septembre :** décret de modification de l'ordonnance du 18 octobre 1945 élargissant les missions du CEA


25

**25** ∴ L'Orme des Merisiers.
**26** ∴ L'accélérateur linéaire à électrons.
**27** ∴ La contestation écologique.


26



27

# 1971

⚛ **7 mai :** remise de la chambre à bulles Gargamelle au CERN

⚛ **15 octobre :** inauguration à Serpukhov (URSS) de la chambre à bulles Mirabelle



# 1972

⚛ **16 juin :** création de Technicatome, société d'ingénierie nucléaire

⚛ Création de la CISI (Compagnie internationale de services en informatique)



Libération

NUMÉRO SPÉCIAL

SI VOUS LE VOULEZ UN QUOTIDIEN LIBRE TOUS LES MATINS

Déjà 37 fois inculpés

ILS VEULENT LIQUIDER 3 GRANDS MAGASINS PARISIENS

Une énorme spéculation foncière dévoilée.

3000 personnes menacées de licenciement

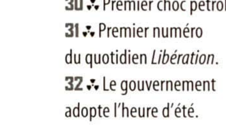
# 1973

⚛ **31 août :** divergence à Marcoule du réacteur prototype à neutrons rapides Phénix

⚛ **Octobre :** création de la société Eurodif

28 ⁂ La première photographie de la planète Mars.

29 ⁂ Chambre à bulles « Gargamelle ».



30 ⁂ Premier choc pétrolier.

31 ⁂ Premier numéro du quotidien *Libération*.

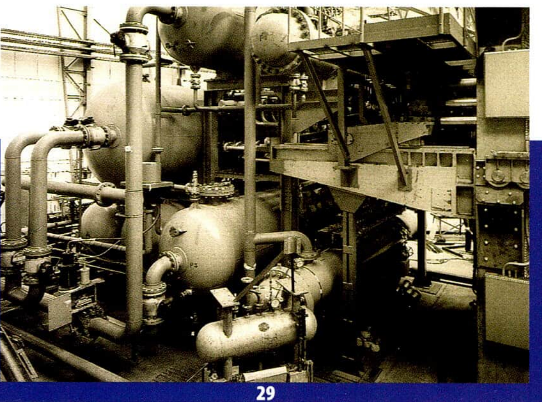
32 ⁂ Le gouvernement adopte l'heure d'été.



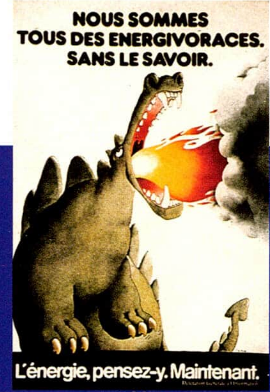



33 ⁂ Le laboratoire Léon Brillouin.

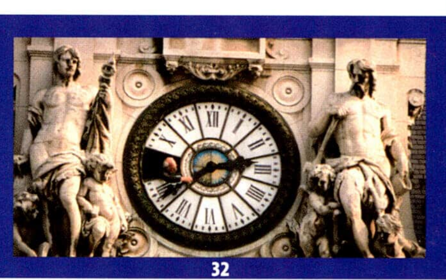
34 ⁂ Une désastreuse marée noire sur les côtes bretonnes.



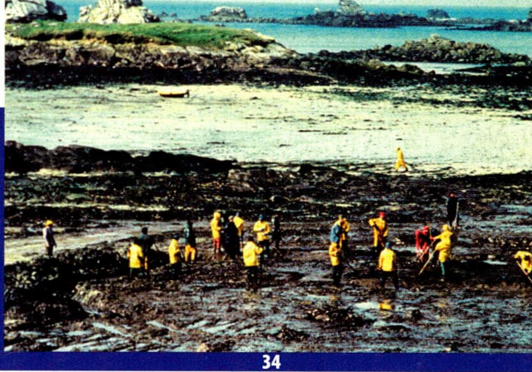
29




30



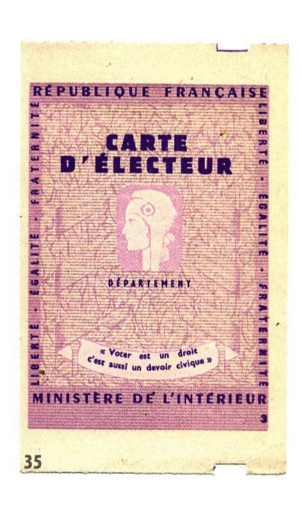
32



34

# 1974

⚛ **2 décembre :** création du Laboratoire Léon Brillouin (CEA/CNRS) à Saclay




35 ⁂ La majorité passe à 18 ans.

# 1976

⚛ **13 janvier :** création de la COGEMA, (Compagnie générale des matières nucléaires)

⚛ **24 juin :** inauguration du cyclotron du Service hospitalier Frédéric Joliot

⚛ **2 novembre :** création de l'Institut de protection et sûreté nucléaire (IPSN)

# 1978

⚛ Mise en route de l'accélérateur Saturne II pour la physique nucléaire à Saclay



36 ⁂ Manifestation antinucléaire à Creys-Malville.

# 1980

19 décembre : mise en service du réacteur de recherche Orphée à Saclay

# 1982

Démarrage à Caen du Grand accélérateur national GANIL (CEA/CNRS)

# 1983

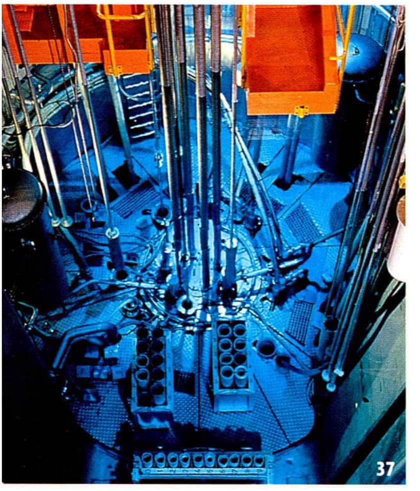
Inauguration du laboratoire souterrain de Modane (CEA/CNRS)

# 1985

Création de la société ORIS industrie

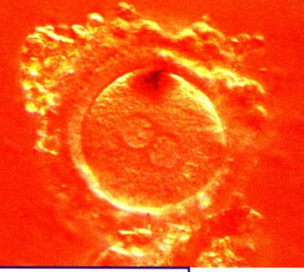
Choix du procédé SILVA (Séparation isotopique par laser de la vapeur atomique d'uranium)

**Septembre :** divergence à Creys-Malville du réacteur à neutrons rapides Superphénix





37 Le réacteur Orphée.
38 Le premier TGV est mis en service.





Le premier bébé éprouvette français

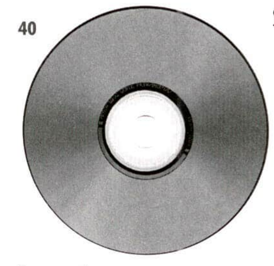
France-Soir

toute dernière

Amandine vous salue bien

La folle soirée de télé-grève

QUARTE : Les PMU ont reçu les paris normalement

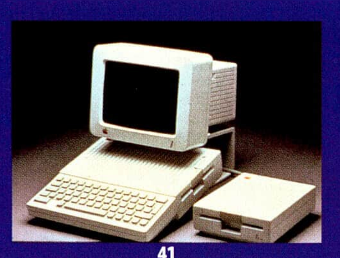


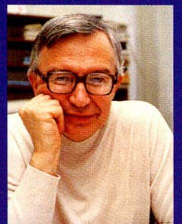
39 Amandine, premier bébé éprouvette français.
40 Le disque compact arrive en Europe.
41 Premier « mac » : Apple IIC.



42 L'Europe compte désormais douze pays.

43 Jean-Marie Lehn, prix Nobel de chimie.
44 Sommet de Maastricht.







# 1989

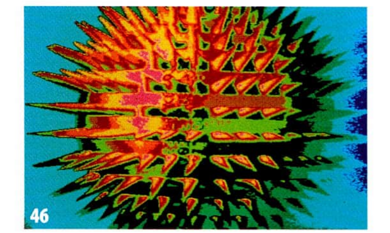
Mise en place du programme Protéine 2000 à Saclay

# 1990

**30 mai :** Inauguration de l'installation Tamaris à Saclay

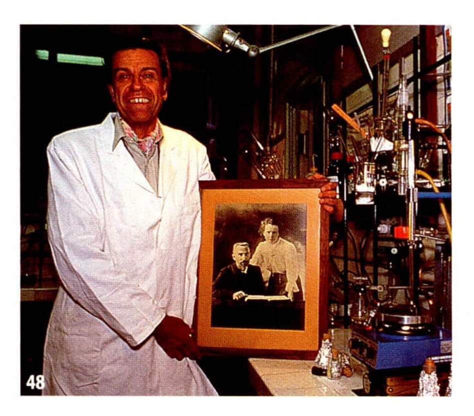
Inauguration du nouveau siège de l'INSTN à Saclay



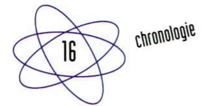


45 Catastrophe nucléaire de Tchernobyl.
46 Virus du sida.





47 Guerre du Golfe.
48 Pierre-Gilles de Gennes, prix Nobel de physique.



# 1992

Le CEA crée le Laboratoire de modélisation du climat et de l'environnement (LMCE) (CEA/CNRS)

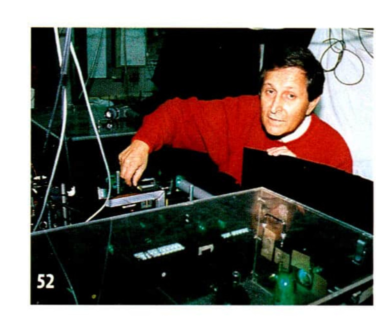
# 1995

**Juin :** le président de la République, Jacques Chirac décide la réalisation d'une dernière campagne d'essais nucléaires

Décision par les membres du CERN de construire près de Genève un nouvel accélérateur de particules, le LHC (Large Hadron Collider)

# 1997

Développement du procédé Silva sur l'installation ASTER à Saclay



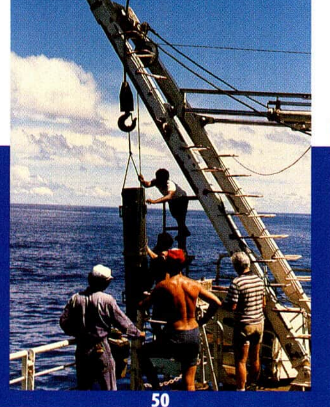


**49** Georges Charpak, Prix Nobel de physique.
**50** Campagne de prélèvements par le LMCE.

**51** 50 ans du CEA.
**52** Claude Cohen-Tannoudji, prix Nobel de physique.

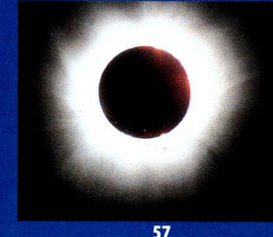
**53** Ariane V décolle de Kourou.
**54** Claudie Haigneré est la première française à participer à une mission spatiale.

**55** Lancement du pot d'échappement catalytique.
**56** Les portables envahissent le marché français.
**57** Éclipse du soleil.









**58** Débat sur les OGM.






# 2001

**11 octobre :** inauguration du laboratoire de haute sécurité microbiologique (L3) à Saclay

# 2002

Saclay fête ses cinquante ans



Le Monde

numéro spécial

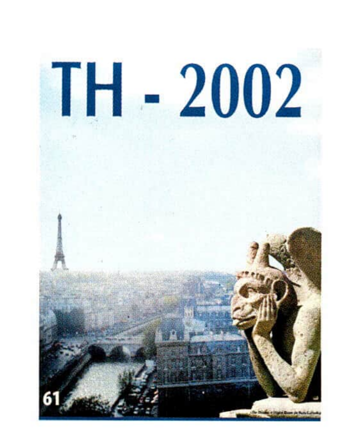
JEUDI 13 SEPTEMBRE 2001

L'Amérique frappée, le monde saisi d'effroi

Nous sommes tous Américains



**59** Attentat aux États-Unis.
**60** L'euro remplace le franc.
**61** Congrès mondial de physique théorique organisé à l'Unesco par des chercheurs de Saclay.





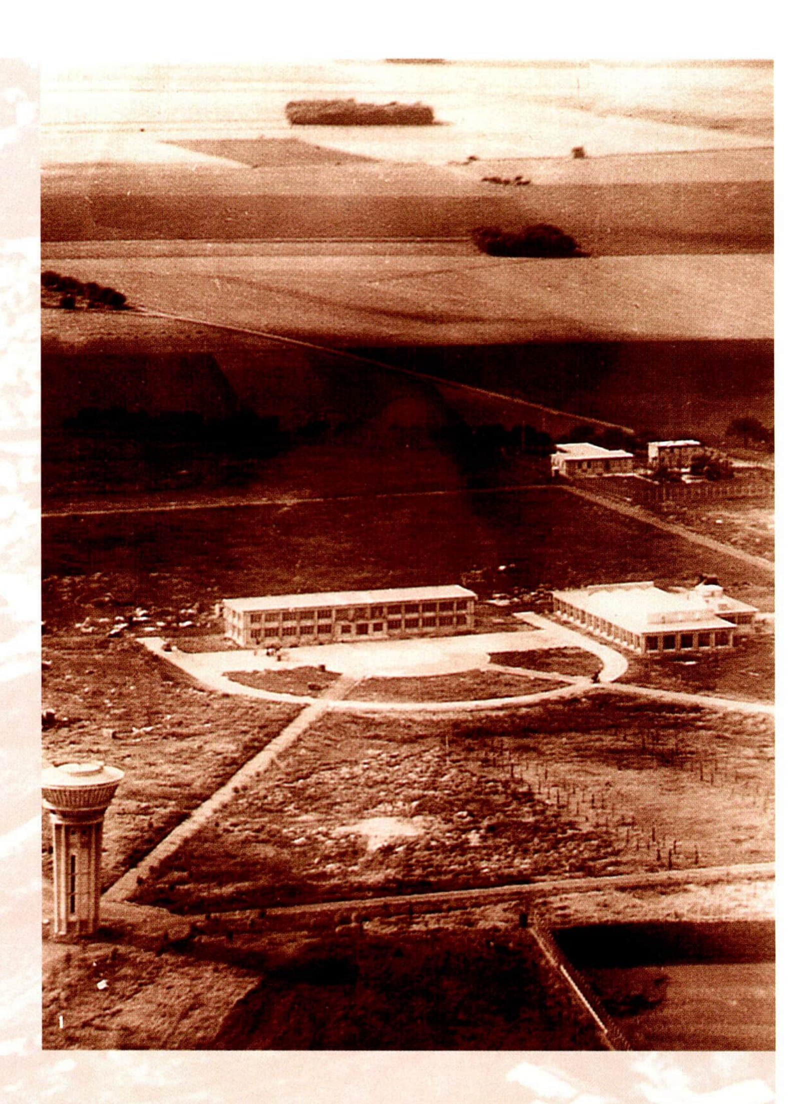
1945-1952

# L'ÉNERGIE DE LA



# RECONSTRUCTION

Le Centre d'études nucléaires de Saclay ouvre ses portes en 1952. Cette année-là, deux installations majeures sont mises en route, l'accélérateur de particules Van de Graaff et la pile atomique EL2, établissant les deux grands axes de recherches qui constitueront la colonne vertébrale de Saclay : d'une part la recherche fondamentale sur la physique de l'atome et de ses constituants, d'autre part la recherche appliquée sur les piles atomiques, l'une et l'autre étant intimement liées à l'origine. Pourtant, le site ne surgit pas *ex nihilo*. Il est issu d'un vrai projet scientifique qui se met en place au lendemain de la guerre.

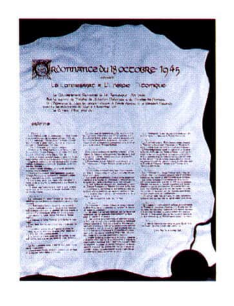


1

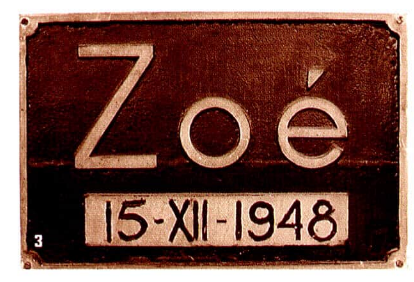
# LA NAISSANCE DU CEA



2



Ordonnance du 18 octobre 1945




3



Les origines et la conception du site remontent à la création du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), quand Frédéric Joliot-Curie, Raoul Dautry et une poignée de scientifiques convaincus jettent les bases de ce que sera le nouvel organisme. Tandis que se constituent les premiers services en vue de la construction de la pile atomique Zoé, le CEA, dont les unités scientifiques sont installées provisoirement dans l'ancien fort militaire de Châtillon, dessine les contours de la future cité atomique, avec le concours du célèbre architecte Auguste Perret. Mais la mise en œuvre s'effectue dans le contexte politique et économique difficile de l'après-guerre. Aussi, les responsables vont-ils déployer une énorme énergie pour faire émerger le centre qui symbolise à lui seul l'ampleur du projet politique et scientifique du CEA. Pourtant, à l'heure de l'ouverture de Saclay en 1952, ses principaux créateurs, Raoul Dautry et Frédéric Joliot-Curie sont partis... C'est un peu le paradoxe de ce centre qui n'a jamais été habité par ceux qui l'avaient imaginé.

**Page précédente** : Affiche de l'exposition « Un an d'efforts », Paris, novembre 1945.
**1** : Vue aérienne de Saclay, en 1952.
**2** : Hiroshima, le 6 août 1945.
**3** : Plaque de la première pile atomique française, Zoé.
**4** : Frédéric et Irène Joliot-Curie dans leur laboratoire de physique à l'Institut du radium en 1932.

# Création du CEA

Depuis le début du xxe siècle, le monde des sciences est entré dans une ère nouvelle, celle de la découverte des lois et des secrets de l'atome. Dans ce domaine, la France est particulièrement bien placée. Dans le sillage des travaux d'Otto Hahn, Fritz Strassmann et Otto Frisch, Irène et Frédéric Joliot-Curie découvrent en 1934 la radioactivité artificielle, ce qui vaut aux deux chercheurs le prix Nobel de chimie. Puis en 1939, Frédéric Joliot-Curie et son équipe du Collège de France, Hans Halban et Lew Kowarski, constatent que la fission des noyaux d'uranium 235 s'accompagne de l'émission de trois neutrons en moyenne qui peuvent à leur tour provoquer une nouvelle fission. Cette découverte de la réaction en chaîne bouleverse profondément l'ensemble des connaissances sur le noyau atomique, ouvrant la voie à de nouvelles applications dans le domaine énergétique. Frédéric Joliot-Curie écrit alors : *« Des chercheurs brisant ou construisant des atomes à volonté sauront réaliser des réactions en chaîne explosives. Si de telles transmutations arrivent à se propager dans la matière, on peut concevoir l'énorme énergie utilisable qui sera libérée. »* Dès lors s'engage une formidable course entre les chercheurs pour la maîtrise de l'atome qui annonce l'émergence d'une nouvelle forme d'énergie. Deux équipes se distinguent : celle de l'université de Columbia à New York et celle du Collège de France autour de Frédéric Joliot-Curie. Celle-ci prépare activement la réalisation d'une pile atomique, en faisant venir notamment plusieurs tonnes d'uranium du Haut-Katanga (Congo) et en se procurant auprès d'une firme norvégienne l'eau lourde qui doit être utilisée comme modérateur pour ralentir les neutrons et favoriser la réaction en chaîne.

Mais la guerre vient brutalement changer la donne. Raoul Dautry, alors ministre de l'Armement, met tout en œuvre pour empêcher les troupes allemandes de s'emparer des secrets de fabrication de l'eau lourde norvégienne. C'est le fameux épisode qui inspira en 1947 le réalisateur Jean Dreville pour son film *La Bataille de l'eau lourde*, où les principaux protagonistes de cette histoire sont mis en scène… Alors que l'Allemagne s'apprête à envahir la France, l'uranium naturel est stocké au Maroc. En France, les recherches s'arrêtent. S'efforçant de préserver ses appareillages (cyclotron) de la réquisition et participant aux actions de la Résistance, Frédéric Joliot-Curie place ses travaux entre parenthèses. Hans Halban et Lew Kowarski ont, pour leur part, gagné la Grande-Bretagne avec le stock d'eau lourde récupéré en Norvège en 1940 par Jacques Allier. Ils sont bientôt rejoints par le physico-chimiste Jules Guéron, le physicien Pierre Auger et le chimiste Bertrand Goldschmidt. En 1942, l'équipe de savants français est transférée avec d'autres chercheurs de Cambridge à Montréal, au Canada.



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DU COMMERCE
SERVICE de la PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

BREVET D'INVENTION

Gr. 14. — Cl. 3. N° 971.324

**Perfectionnements aux charges explosives.**

CAISSE NATIONALE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE résidant en France (Seine).

**Demandé le 4 mai 1939, à 15h 35m, à Paris.**
Délivré le 12 juillet 1950. — Publié le 16 janvier 1951.

*(Brevet d'invention dont la délivrance a été ajournée en exécution de l'article 11, § 7, de la loi du 5 juillet 1844 modifiée par la loi du 7 avril 1902.)*

On sait que l'absorption d'un neutron par un noyau d'uranium peut provoquer la rupture de ce dernier avec dégagement d'énergie et émission de nouveaux neutrons en nombre en moyenne supérieur à l'unité. Parmi les neutrons ainsi émis, un certain nombre peuvent à leur tour provoquer sur des noyaux d'uranium, de nouvelles ruptures, et les ruptures de noyaux

en utilisant la formule suivante, valable pour une masse sphérique :

$$M = \frac{4}{3} \times \pi^4 \left[ 3\,D\,(n\,P - A) \right]^{-\frac{3}{2}}$$

dans laquelle :

D est la somme, pour tous les corps simples présents dans la masse, des produits de la…

BREVET D'INVENTION — Gr. 12. — Cl. 2. — N° 971.384
Perfectionnement aux dispositifs producteurs d'énergie.

BREVET D'INVENTION — Gr. 12. — Cl. 2. — N° 971.386
Perfectionnements apportés aux dispositifs de…
MM. Hans Heinrich von Halban, Jean-Frédéric… en France (Seine).
Demandé le 1er mai 1940…
Délivré le 12 juillet 1950. — …

On sait que l'irradiation de l'uranium par des neutrons provoque une rupture nucléaire de l'uranium, avec dégagement de quantités considérables d'énergie. Cette rupture donne lieu à l'émission de neutrons secondaires, parmi lesquels un certain nombre peuvent provoquer à leur tour de nouvelles ruptures, et une réaction à chaîne explosive peut ainsi prendre naissance et se propager au sein de la masse uranifère.

BREVET D'INVENTION — Gr. 12. — Cl. 2. — N° 976.542
…de stabilisation d'un dispositif producteur d'énergie.
…DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE résidant en France (Seine).
…2 mai 1939, à 14h 12m, à Paris.
…1950. — Publié le 19 mars 1951.

BREVET D'INVENTION — Gr. 5. — Cl. 2. — N° 976.541
Dispositif de production…
…RECHERCHE SCIENTIFIQUE résidant en France (Seine).
…1939, à 16h 55m, à Paris.
…1950. — Publié le 19 mars 1951.

L'action se déroule désormais en Amérique du Nord entre l'équipe « québécoise », où se trouvent les savants français, et l'équipe « américaine » d'Enrico Fermi. Cette dernière remporte un succès décisif puisqu'elle parvient à faire diverger, le 8 décembre 1942, la première pile atomique capable de produire du plutonium indispensable à la confection d'une arme atomique. Dès lors, le Président Roosevelt ordonne aux savants d'interrompre toute collaboration avec le Royaume-Uni. Les relations entre les deux équipes qui jusqu'alors avaient été placées sous le signe de l'échange et de la coopération, s'interrompent brutalement, les États-Unis désirant être les seuls à détenir l'arme atomique. Le programme Manhattan, dont l'objectif est de réaliser la bombe dans les meilleurs délais, s'engage à Los Alamos en Californie. Le général de Gaulle est mis au courant de l'avancement du projet américain par Jules Guéron, Pierre Auger et Bertrand Goldschmidt lors de son voyage à Ottawa le 11 juillet 1944. La fin de l'année 1944 est marquée par de multiples tensions qui surgissent entre les savants français et leurs confrères anglo-saxons, soucieux de conserver le secret des dossiers atomiques. L'ombre de la guerre froide plane déjà et les Alliés voient d'un mauvais œil les relations des chercheurs français avec Frédéric Joliot-Curie, devenu un membre actif du parti communiste français. De nombreuses frictions, notamment au sujet de brevets français que Frédéric Joliot-Curie refuse de céder aux Alliés, aboutissent à une mise à l'écart de la France des pourparlers sur le nucléaire.

À la Libération, le gouvernement provisoire a pris conscience d'un impératif. Si la France veut figurer parmi les grandes puissances nucléaires, elle devra le faire seule. Il faut donc reprendre au plus vite les recherches commencées avant guerre. Au cours d'une première réunion à la fin de l'année 1944, à laquelle participent Raoul Dautry et Frédéric Joliot-Curie, le projet de constituer un pôle de recherche sur le nucléaire est évoqué. Le 13 mars 1945, Raoul Dautry, ministre de la Reconstruction et de l'urbanisme, saisit le gouvernement provisoire et fournit au général de Gaulle un dossier complet en lui précisant *« qu'il conviendrait que la France se réintroduise dans le circuit des recherches en formant une équipe de chercheurs qui serait placée sous l'autorité de M. Joliot-Curie, celui-ci étant sans aucun doute le seul savant à pouvoir maîtriser le problème »*.


**5** : Brevets d'invention de Frédéric Joliot-Curie et de ses collaborateurs.

**6** : Raoul Dautry, premier administrateur général du CEA.
**7** : Frédéric Joliot-Curie, premier haut-commissaire, devant une chambre de Wilson avec Hans Halban et Lew Kowarski, extrait du film *La bataille de l'eau lourde* de Jean Dreville, 1947.

Les premiers jalons du futur grand centre de recherche sont posés. Encore faut-il réunir les conditions pour envisager sa réalisation et s'assurer que le pays pourra reprendre les expériences commencées avant guerre. La France dispose d'un stock d'uranium mais la fourniture de l'eau lourde indispensable à la fabrication de la pile est suspendue à sa livraison par la Norvège, en vertu d'un accord passé avant le conflit. En 1945, des contacts sont établis avec le gouvernement provisoire norvégien en exil, en vue d'obtenir cinq tonnes d'eau lourde. Dans le même temps, la réflexion sur le futur institut avance. En mai, lors d'une réunion de travail entre Frédéric Joliot-Curie, Pierre Auger et le général de Gaulle, la question des autorités de tutelle est abordée. Sur les recommandations de Joliot-Curie, Raoul Dautry est pressenti pour occuper le poste d'administrateur général du futur organisme. Convaincu que seul ce dernier pourra contrôler l'influence politique des savants, le général de Gaulle accepte.

LE GÉNÉRAL DE GAULLE

8

**8** : Lettre du général de Gaulle pour le projet d'ordonnance concernant la création du CEA.

Les événements se précipitent au cours de l'été 1945 lorsque les Américains lâchent, les 6 et 9 août, deux bombes atomiques sur Hiroshima et Nagasaki. Conscients des répercussions de cet événement majeur, Raoul Dautry et Frédéric Joliot-Curie réagissent rapidement. *« Il importe maintenant de reprendre l'effort qu'il avait partout fallu relâcher devant les nécessités de la guerre et travailler à maîtriser l'énergie atomique au profit des travaux de la paix, et non plus de l'œuvre de la mort. Je suis convaincu que la science française prendra sa large place dans cette belle tâche humaine »*, déclare Raoul Dautry à la radio. Le discours est identique pour Frédéric Joliot-Curie : *« Personnellement, je suis convaincu qu'en dépit des sentiments provoqués par l'application à des fins destructrices de l'énergie atomique, celle-ci rendra dans la paix des services inestimables »*, écrit-il dans *l'Humanité* le 12 août 1945.

Sans nul doute, l'ombre de la bombe atomique américaine pèse fortement sur les discussions visant à définir les statuts du futur Institut. Une première réunion a lieu le 3 octobre 1945. Elle réunit les principaux savants qui figureront dans le conseil scientifique : Irène et Frédéric Joliot-Curie, Pierre Auger, Francis Perrin et Raoul Dautry, assistés du Conseiller d'État Jean Toutée. Après plusieurs jours de pourparlers portant essentiellement sur l'équilibre des pouvoirs entre la direction administrative et la direction scientifique, et cinq projets successifs d'ordonnances et de décrets, un texte est finalement déposé le 12 octobre 1945. L'ordonnance de création du Commissariat à l'énergie atomique est signée le 18 octobre 1945 par le général de Gaulle. Son objectif : *« Poursuivre les recherches scientifiques et techniques en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans divers domaines de la science, de l'industrie et de la défense nationale. »* L'ordonnance précise avec soin toutes les missions se rattachant à cet objectif : *« Il étudie les mesures propres à assurer la protection des personnes et des biens contre les effets destructifs de l'énergie atomique. Il organise et contrôle [...] la prospection et l'exploitation des gisements des matières premières nécessaires. Il réalise, à l'échelle industrielle, les dispositifs générateurs d'énergie d'origine atomique. Il fournit au gouvernement toutes les informations concernant l'énergie atomique et ses applications et, notamment, l'éclaire dans la négociation des accords internationaux. Et en général, il prend toutes les mesures pour mettre la France en état de bénéficier du développement de cette branche de la science. »*



**9** : Première équipe du CEA en 1946. Au premier rang, de gauche à droite : Pierre Auger, Irène et Frédéric Joliot-Curie, Francis Perrin, Lew Kowarski.
Au second rang, de gauche à droite : Bertrand Goldschmidt, Pierre Bicquart, Léon Denivelle, Jean Langevin.

Le CEA jouit d'un statut inédit, puisque selon l'exposé des motifs précédant l'ordonnance du 18 octobre 1945, il est à la fois *« très près du gouvernement et pour ainsi dire mêlé à lui et cependant doté d'une grande liberté d'action »*. Cette liberté est considérée par les responsables comme la condition *sine qua non* de son efficacité. Le statut de l'organisme traduit bien cette exigence. Il s'agit donc d'un établissement à caractère scientifique, technique et industriel, doté d'une personnalité civile ainsi que d'une autonomie financière mais placé sous l'autorité de l'État. De fait, il est composé d'une direction bicéphale avec l'administrateur général, délégué du gouvernement en charge des aspects administratif et financier, et le haut-commissaire à l'énergie atomique, responsable de la direction technique et scientifique. Un comité de l'énergie atomique composé du haut-commissaire, de l'administrateur général et de trois scientifiques, dont le président du comité d'action scientifique de la défense nationale, constitue le conseil d'administration du CEA. Il est présidé par le président du conseil et en son absence par l'administrateur général.

## Les priorités initiales

Les débuts officiels de l'activité du CEA remontent au 3 janvier 1946, date à laquelle sont nommés par décret Raoul Dautry, administrateur général, Frédéric Joliot-Curie, haut-commissaire, et les membres du comité Irène Joliot-Curie, Pierre Auger, Francis Perrin et le général d'armée Paul Dassault. Dès le 10 janvier 1946, le comité de l'énergie atomique nomme les premiers directeurs : Lew Kowarski pour la physique et la technologie, Bertrand Goldschmidt pour la chimie et Jules Guéron pour les matières premières. Ensemble, ils forment à partir de mars 1946 le comité scientifique où sera pris l'essentiel des décisions durant les premières années d'existence du CEA. Pour la partie administrative, du ressort de l'administrateur général, sont nommés un secrétaire général, Léon Denivelle, un directeur des services administratifs, André-François Pernot, et Jean Toutée comme conseiller juridique. Le siège du Commissariat est installé dans deux appartements réquisitionnés par le ministère des Prisonniers, réfugiés et déportés au 41 avenue Foch à Paris, d'où il déménagera en 1947 pour aller à l'Hôtel de Clermont, au 69 rue de Varenne à Paris.

Cette fois, le travail peut commencer. Le premier problème à résoudre est celui des locaux. Et ce n'est pas l'un des moindres au moment où le pays a subi de lourdes destructions pendant la guerre, et doit reconstruire une bonne partie de son patrimoine immobilier. Les savants prévoient déjà la construction d'un grand centre de recherche mais, en attendant, il leur faut trouver d'urgence des locaux provisoires en dehors de Paris pour démarrer les travaux. Grâce au général Dassault, le CEA s'installe dans un ancien fort militaire, à Châtillon. Un autre bâtiment militaire, une partie de la poudrerie nationale du Bouchet, lui est affecté quelques mois plus tard en juillet 1946.

## Images tournées avec une caméra amateur de 1947 à 1948 par Roger Wahl, ingénieur électronicien, au fort de Châtillon


10a


10b


10c


10d


10e

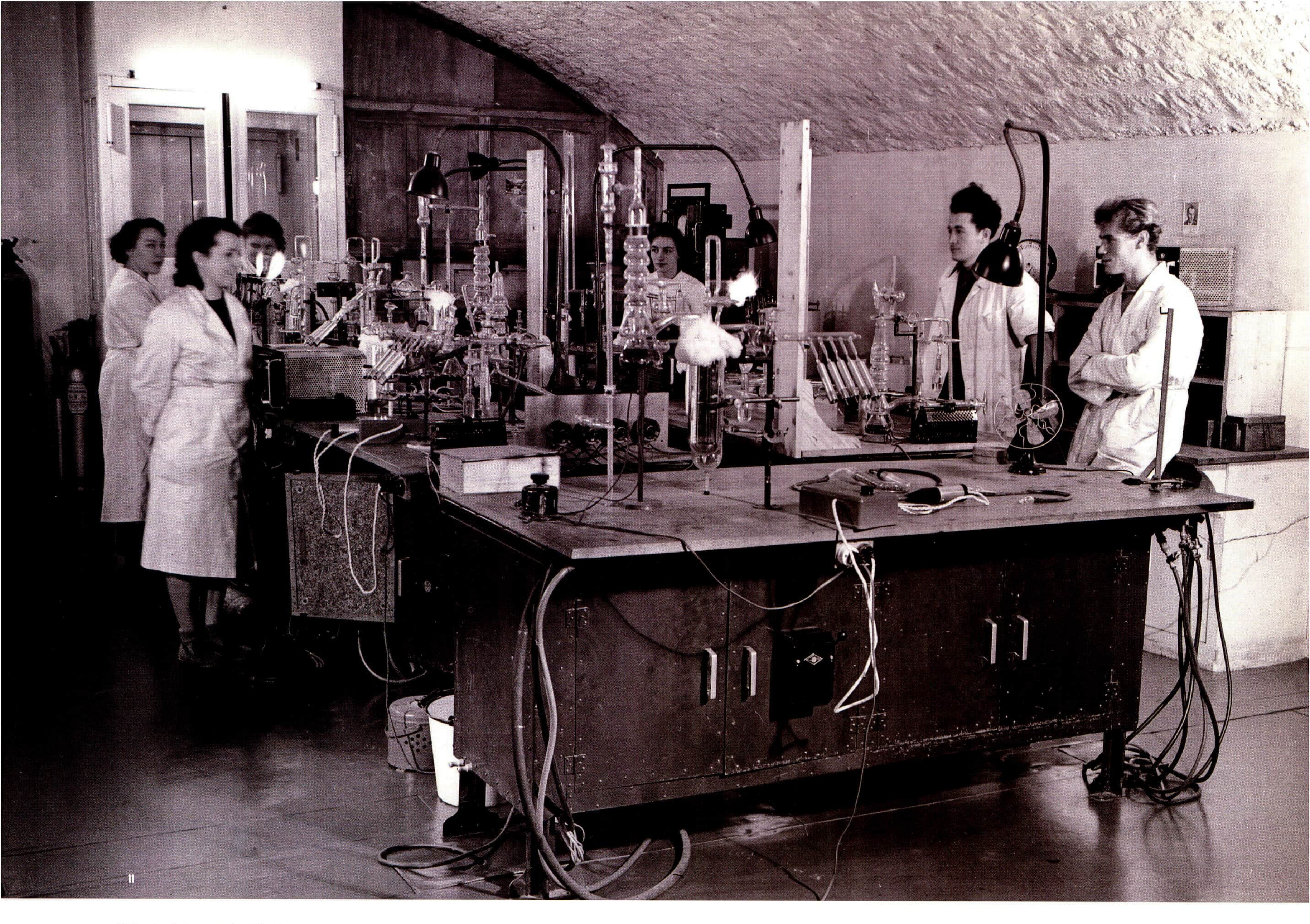

10f

**10 a-b-c-d** : la vie quotidienne au fort de Châtillon.

**10 e** : L'ensemble du personnel se rend à la Sorbonne où Frédéric Joliot-Curie expose le programme du CEA.

**10 f** : Le Prince de Broglie.





**11** : Service des constructions électriques, atelier de fabrication des compteurs au fort de Châtillon.

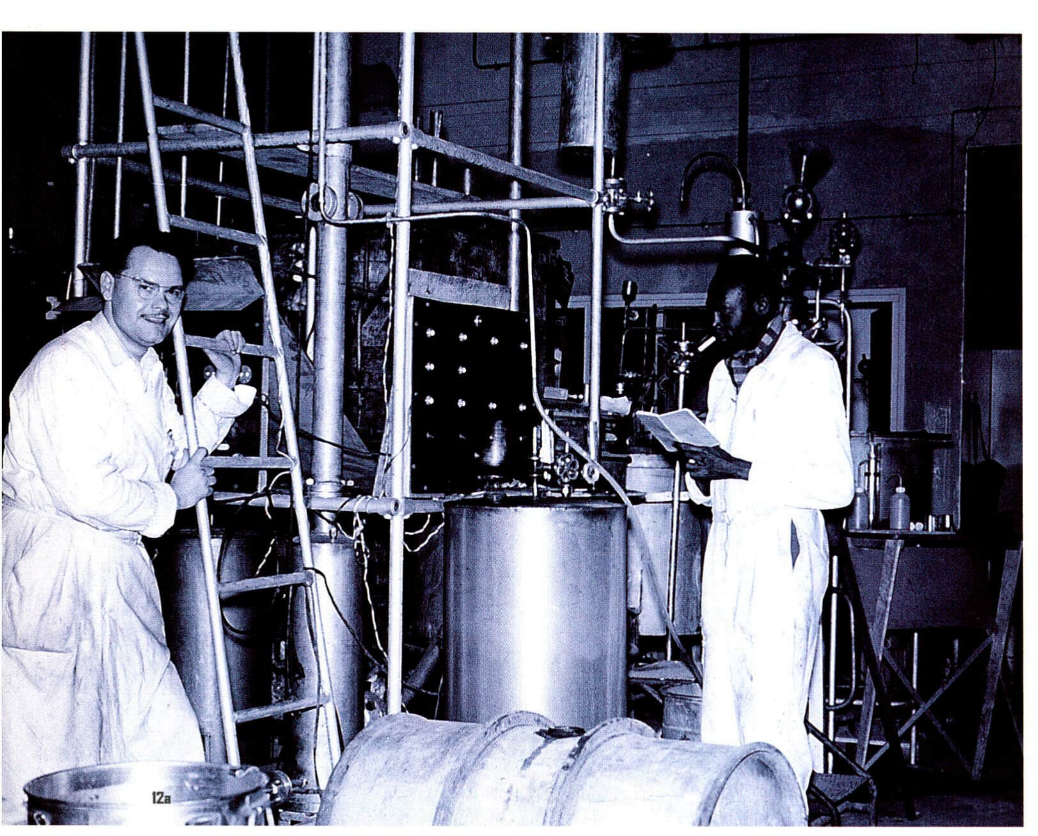
Dès le printemps 1946, le comité scientifique élabore les grands axes de recherche du CEA pour les années à venir. Deux priorités apparaissent : le redémarrage des travaux en vue de la réalisation de la première pile atomique française, et la mise en route d'un programme de prospection de l'uranium sur le territoire national. Déjà, l'objectif est d'amener le pays sur la voie de l'indépendance énergétique, en maîtrisant à la fois les modes de production de l'énergie nucléaire et l'approvisionnement en combustible. Le comité scientifique décide d'utiliser l'eau lourde comme ralentisseur (modérateur) de la future pile. Deux arguments décisifs, explique-t-on alors, font balancer la décision en faveur de l'eau lourde plutôt que du graphite. D'une part, le pays possède un stock d'uranium qui semble alors insuffisant pour construire une pile au graphite ; d'autre part, il est en mesure d'acquérir en Norvège l'eau lourde indispensable dans un délai raisonnable. Toutefois, la présentation du programme lors de la séance du 15 mars 1946 précise bien que la construction d'une pile modérée à l'eau lourde reste un avant-programme expérimental. Deux autres étapes sont d'ores et déjà prévues : une étape pré-industrielle avec la construction d'une pile au graphite de moyenne puissance et une étape industrielle avec la construction d'une pile au graphite de grande puissance. Le programme qui découle de cet objectif initial reçoit le 19 mars 1946 l'aval du président du gouvernement provisoire de Félix Gouin.

Pour réaliser la première pile atomique, le CEA doit d'abord assurer son approvisionnement en composants et notamment en eau lourde. En outre, un effort considérable doit être fait pour améliorer les composants indispensables à la fabrication des piles. Un premier travail consiste donc à « *mettre au point à l'échelle industrielle la purification extrême de l'uranium* » et à « *obtenir de l'industrie, productrice du graphite ordinaire, la fabrication d'un graphite très pur nécessaire pour former le réflecteur de la pile à eau lourde [...] et pour permettre la construction ultérieure des piles à graphite* ».

Dans le même temps, tous les services scientifiques et techniques nécessaires à la réalisation de la pile sont mis en place : un Service de chimie analytique, pour mettre en œuvre les méthodes les plus puissantes et contrôler la pureté des substances destinées à constituer la pile (spectrographie, colorimétrie) ; un Service de neutronique théorique et expérimentale chargé des calculs et des mesures préliminaires, capable de prendre en main la conduite de la pile dès sa mise en marche ; enfin un Service d'électronique pour imaginer et construire les appareils spéciaux non fabriqués par l'industrie mais qui sont nécessaires au contrôle et au fonctionnement de la pile ainsi qu'à la mesure des rayonnements.

Parallèlement, le comité scientifique, conscient qu'une vraie compétence en matière nucléaire passera par l'acquisition de connaissances fondamentales sur la physique de l'atome, projette de monter un pôle de recherche en physique fondamentale. Dans un premier temps, il est décidé de confier à un Service des accélérateurs l'étude et la construction de puissants appareillages indispensables à la recherche dans ce domaine : un cyclotron pouvant produire des particules d'environ 25 millions d'électronvolts et un accélérateur électrostatique pour obtenir des particules de quelques millions d'électronvolts (MeV). Enfin, dans le même temps, le CEA crée un Département des recherches et exploitations minières (DREM), confié à l'ingénieur en chef des Mines, André Savornin, avec la tâche immédiate d'étudier les possibilités d'exploitation des gisements d'uranium connus en France et à Madagascar, et de commencer les prospections.

**12 a-b** : Au fort de Châtillon, les services de chimie du plutonium.


12a


12b



**13** : Porte d'accès au fort de Châtillon.
**14** : Les premiers bâtiments du fort de Châtillon.

## Le fort de Châtillon, berceau du CEA

C'est à partir du mois de mars 1946 que le Commissariat à l'énergie atomique prend possession du fort de Châtillon situé près de Fontenay-aux-Roses, au sud de la région parisienne. Cet édifice militaire, qui date de 1876, est l'un des ouvrages fortifiés construits autour de Paris après la défaite de 1871, afin de prévenir une nouvelle invasion. Même si certains canons étaient, paraît-il, tournés vers Paris pour mater d'éventuelles rébellions populaires. Un temps abandonné, le fort est utilisé à la Libération pour emprisonner des collaborateurs. C'est donc un lieu sinistre et désolé que les premiers agents du CEA découvrent en 1946. *« Quelque chose de tragique y planait encore, probablement parce que l'on y avait fusillé des hommes. »*
Plusieurs se souviennent d'impacts de balles et de traces de sang encore visibles sur les murs... Les premiers travaux d'aménagement du centre sont confiés au capitaine de corvette et physicien Maurice Surdin, aidé dans cette tâche par quelques prisonniers de guerre et par les premiers agents du CEA. Après une première opération de nettoyage pour débarrasser les lieux des feuilles mortes et des chauves-souris, un rapide constat s'impose : tout est à faire... à un moment où la France entière est à reconstruire. Il faut donc compter avec toutes les ressources disponibles et notamment les stocks de l'armée américaine où le CEA trouve du matériel pour équiper son centre.

Dans les premières semaines, Maurice Surdin est sur tous les fronts. L'un des pionniers de Châtillon se souvient : *« Surdin, qui était le directeur du fort, montait à pied la côte du boulevard menant à l'entrée, un paquet sous le bras : c'était la viande qu'il avait achetée chez le boucher de Fontenay pour le repas de midi. Un jour, nous le vîmes arriver avec une jeune femme de Fontenay, Ginette Richard. "Ce sera la secrétaire de direction" nous dit-il. Elle formera à elle seule l'ensemble du personnel administratif du fort pendant six ans ! Par contre, nous avons embauché rapidement toutes sortes de techniciens et d'ingénieurs : un an après notre arrivée nous étions déjà plus de cent. »*

Beaucoup de militaires et d'anciens prisonniers rejoignent alors le CEA. Parmi eux, bon nombre de marins. La présence de Maurice Surdin et d'André Ertaud, anciens officiers de marine, y est certainement pour beaucoup. Mais ce n'est pas l'unique raison. Les membres du Comité scientifique savent que la réalisation d'une pile impose des astreintes, une discipline et une rigueur auxquelles sont habitués les hommes de la marine... Ils sont aussi les seuls à l'époque à avoir quelques compétences en électronique, acquises dans les transmissions.

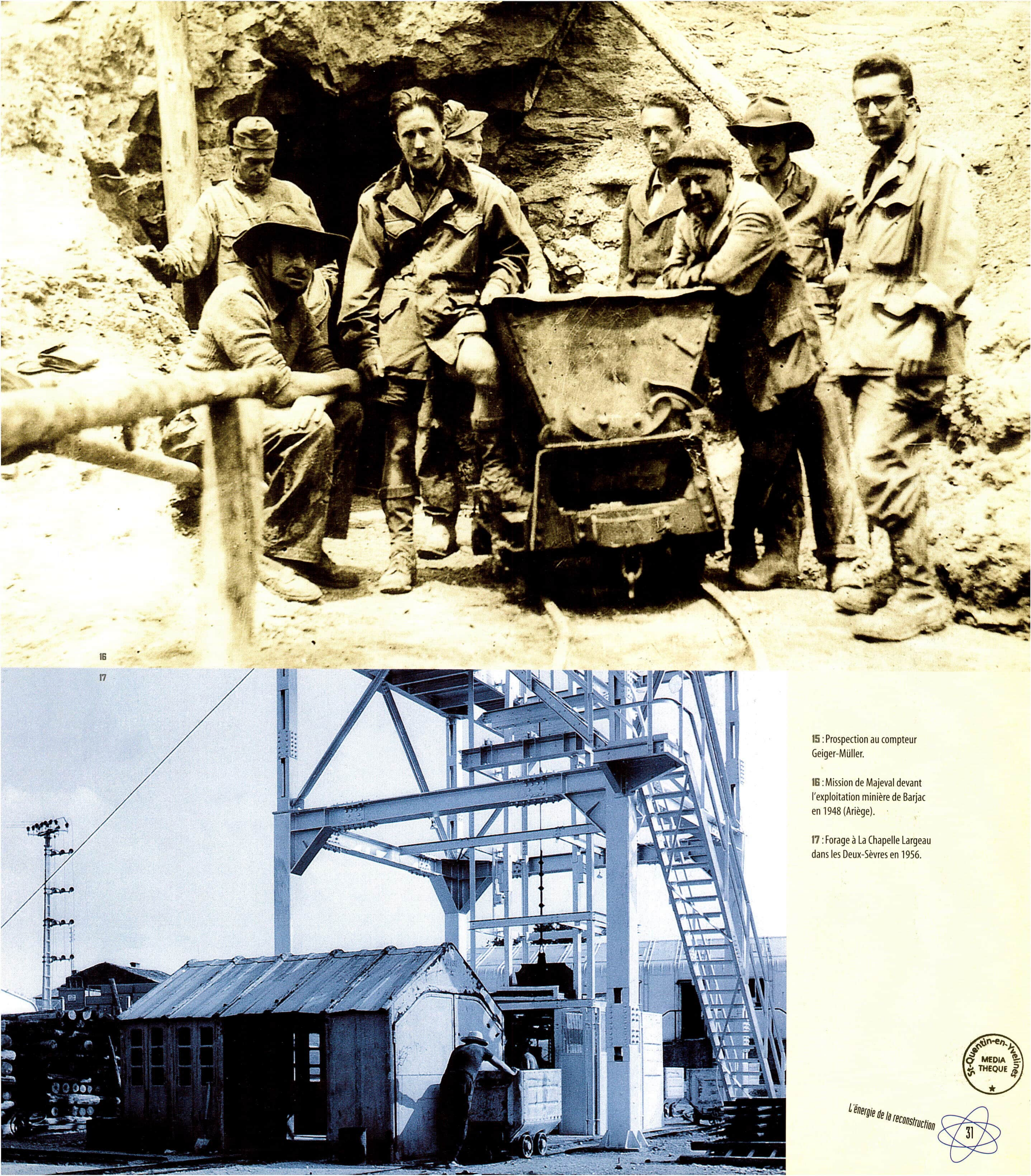
# De l'exploration du plateau de Saclay à celle des premiers gisements d'uranium

Au mois de mars 1946 un ingénieur embauché par Frédéric Joliot-Curie, Jacques Labeyrie, rejoint le Service d'électronique. Sa mission ? *« Trouver une méthode efficace pour découvrir de l'uranium en France. »* Il a à ses côtés un électronicien, Robert Chaminade, qui parvient un mois plus tard *« à bricoler un appareil portable de détection des rayons gamma, équipé avec une douzaine de compteurs »*. Les deux hommes décident alors de tester le nouvel appareil à partir d'un avion.

Jacques Labeyrie raconte l'aventure : *« Nous avions loué à un club de Toussus-le-Noble une heure de vol à bord d'un petit avion, et nous avions emprunté une source de rayons gamma d'un millicurie environ à l'Institut du radium ; nous avions demandé au chauffeur de madame Joliot-Curie de cacher cette source dans un carré de deux kilomètres de côté sur un vaste plateau couvert de prés et de cultures que nous avions repéré près d'un petit village nommé Saclay. Ce vaste terrain avait l'avantage d'être sans aucun arbre ou obstacle dépassant du sol et d'être tout près de l'aéroport. Recroquevillés tous deux sur l'étroit plancher de l'avion qui volait à 100 mètres au-dessus du sol, on s'efforçait de voir apparaître une fluctuation du taux de comptage sur l'intégrateur de notre détecteur. On était assez peu à l'aise, à la limite de la nausée [...] Et on a fini par voir apparaître cette fluctuation après moins d'une demi-heure de vol, au croisement de deux chemins. On était tout heureux de voir que nos prévisions étaient exactes ! »*




Sur terre ou dans les airs, il ne faudra que quelques mois pour que des troupes de jeunes géologues se déploient dans toutes les régions susceptibles d'être uranifères : dans le Morvan, le Forez, le Limousin, à Madagascar et en Afrique-Équatoriale... Les efforts des prospecteurs et des « gueules noires » du CEA sont enfin récompensés lorsqu'ils découvrent le 2 novembre 1948 le premier filon de pechblende à la Crouzille, près de Limoges. Marcel Roubault, qui succéda à André Savornin à la tête du Département des recherches et des exploitations minières, se souvient : *« La joie des membres de l'équipe du Limousin fut comparable à celle qu'éprouvèrent peu de temps après les amis du fort de Châtillon lors de la première divergence de la pile Zoé. »* Plus tard, d'autres gisements sont découverts et l'exploitation s'organise sous la direction de Jacques Mabile. Le DREM ouvre alors une division à la Crouzille puis la division de Vendée près de Nantes. Dix ans après le début des premières prospections, la France produit 175 tonnes de minerai par an. Le pays est devenu le premier producteur européen d'uranium. Un vaste programme de prospection lancé en Afrique en 1954 conduit à la découverte par des géologues français d'importantes réserves au Gabon en 1957 et au Niger, où la mine d'Arlit sera exploitée à partir de 1968.



16

17

**15** : Prospection au compteur Geiger-Müller.

**16** : Mission de Majeval devant l'exploitation minière de Barjac en 1948 (Ariège).

**17** : Forage à La Chapelle Largeau dans les Deux-Sèvres en 1956.

Un autre trait frappant apparaît, dès cette époque, dans les recrutements : la diversité des profils et des compétences des personnes embauchées. Durant leurs séjours outre-Atlantique, les scientifiques ont été sensibilisés à une nouvelle approche de la recherche. Ils ont compris que la recherche nucléaire en particulier, qui impose la construction de gros appareils, doit pour réussir mobiliser de multiples compétences scientifiques et techniques. Fortement inspiré du modèle anglo-saxon découvert par « les Canadiens », le CEA inaugure ainsi une nouvelle forme de travail en équipe, mêlant chercheurs, ingénieurs et techniciens de toutes disciplines. Le statut du personnel reflète bien cette évolution : ingénieurs et chercheurs sont classés dans l'annexe I réservée aux cadres, l'annexe II rassemblant le personnel non-cadre. C'est une grosse différence avec le CNRS où les chercheurs, seuls, ont un statut à part. La représentation du savant isolé dans son laboratoire tend ainsi à laisser la place à une autre forme de recherche plus collective, plus interactive, plus technicienne aussi. Ce recrutement très diversifié restera l'une des grandes caractéristiques du Commissariat à l'énergie atomique.

Pour tous ces jeunes recrutés l'entrée au CEA représente un peu une plongée dans l'inconnu. C'est à la fois ce qui attire beaucoup de jeunes ingénieurs curieux d'explorer un nouveau domaine, mais aussi décourage bien des ingénieurs assurés de trouver un emploi dans d'autres secteurs alors en déficit de main-d'œuvre. *« Il s'agissait d'un domaine où les connaissances scientifiques étaient balbutiantes et tout restait à découvrir car personne n'avait reçu d'enseignement »*, résument les pionniers de cette aventure. Ainsi, Anatole Abragam raconte comment le trio qu'il formait avec deux polytechniciens, Michel Trocheris, futur responsable du département de la fusion contrôlée, et Jules Horowitz, futur directeur des piles atomiques, s'initia aux secrets de l'atome. *« Notre première rencontre à Châtillon eut lieu sous les auspices d'André Ertaud, un officier de marine actif et diligent, qui avait réuni une documentation considérable sur les comportements des neutrons dans la matière. Notre première tâche fut de dépouiller le contenu de cette documentation. »*

S'y ajoutent les cours encore très largement improvisés que Lew Kowarski dispense aux nouvelles recrues, élaborés à partir de mystérieux carnets de notes secrets. En physique fondamentale, comme dans tous les autres services, les jeunes chercheurs tentent ainsi de formaliser leurs connaissances en s'inspirant des rares sources disponibles. Ils se réfèrent par exemple au fameux rapport Smythe que les Américains viennent de déclassifier et qui contient des informations précieuses sur la théorie des réacteurs. Pourtant, les scientifiques se rendent vite compte de la nécessité de compléter leur bagage théorique dans certains domaines. Ainsi, les « trois mousquetaires » de la physique théorique sont-ils envoyés dans les universités les plus prestigieuses pour compléter leur formation. *« Sur l'initiative de Kowarski, Horowitz fut envoyé pour un an à l'Institut Niels Bohr à Copenhague, qui était alors La Mecque de la physique théorique, Trocheris partit pour Manchester où le professeur Léon Rosenfeld, un élève francophone de Niels Bohr, avait fondé une école de physique théorique »*, raconte Anatole Abragam, qui partira l'année suivante en Grande-Bretagne, à l'université d'Oxford.

Le recrutement s'effectue au fur et à mesure de l'aménagement des locaux et de l'organisation des services, dont les activités sont alors presque entièrement tournées vers la réalisation de la première pile française. Ce projet fédérateur va puissamment structurer les services du CEA. Premier implanté sur le fort, le Service de constructions électriques est aussi l'un des plus importants. Il s'occupe de la réalisation de tous les appareillages de mesure de rayonnement et notamment de la fabrication des premiers compteurs Geiger-Muller, dont plus d'un millier d'exemplaires sortira en 1947 des ateliers de mécanique installés au fort. Ce service participe également à la réalisation de toute l'électronique de contrôle et du tableau de commande de la pile Zoé. Ce sera la première tâche confiée à Jacky Weill, futur chef du Département d'électronique.

Dirigé par Jacques Stohr, le Service de technologie occupe le plus grand bâtiment, dit bâtiment O, au milieu de la cour du fort. Dans le contexte de l'après-guerre où le pays manque cruellement d'équipements industriels, il joue un rôle très important dans la fabrication d'une multitude de biens indispensables aux laboratoires : fours, pompes à vide... Mais surtout, ce service réussit à régler le problème posé par l'utilisation de l'oxyde d'uranium, seul combustible disponible à l'époque, l'industrie n'étant pas en mesure d'élaborer de l'uranium métal pur. Sous forme de poudre, il présente les inconvénients majeurs d'être peu maniable et de faible densité. L'équipe de Stohr parvient alors à transformer cette poudre en galettes céramiques très résistantes et d'une densité convenable par frittage à 1 500 degrés en atmosphère d'hydrogène dans des fours spécialement construits. Ces galettes faciles à empiler dans des tubes d'aluminium constitueront les barreaux de combustible.

Sous la responsabilité de Jules Guéron, le Service de chimie analytique, également installé à Châtillon, réalise les premières mesures de contrôle de la pureté du graphite qui servira à la réalisation du réflecteur de la première pile, et qui devra entourer la cuve d'eau lourde. La fabrication du graphite nucléaire, effectuée par Pechiney



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉSIDENCE DU CONSEIL
COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE

RAPPORT D'ACTIVITÉ DU COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE
DU 1er JANVIER 1946 AU 31 DÉCEMBRE 1950

à l'usine de Chedde, est supervisée par les équipes du CEA et notamment par Hermann Hering qui deviendra chef du Service de chimie physique en 1949. Ce service s'étoffe rapidement. Il dispose de plusieurs laboratoires : la spectrographie optique, la colorimétrie et enfin la spectrographie de masse développée par Étienne Roth de retour d'un stage au Canada. Enfin, un Service neutronique se charge de tous les calculs préliminaires et de la formation du personnel pour le pilotage délicat de la pile…

Ainsi près de 400 personnes sont mobilisées sur ce projet. Au rang des premières difficultés : la pénurie, car la France manque de tout. Dans les laboratoires, les agents doivent « se débrouiller avec les moyens du bord ». Ils rivalisent d'imagination pour acheter du matériel à moindre coût, aménager les casemates ou bricoler quelques appareils. Tout est bon à prendre : « *Pour collimater les neutrons, les physiciens utiliseront un fût à canon déniché dans les surplus de l'armée, une vieille chaîne de moto trouvée dans une casse actionne le chariot de défournement des radioéléments. Et pour mesurer le niveau de l'eau lourde, comme il est impossible de trouver une règle assez grande, il faut ruser en assemblant plusieurs morceaux de décimètres d'écolier*[1]… »

[1] Marie-José Lovérini, « Le CEA célèbre les 50 ans de Zoé », *Revue du palais de la Découverte*, n° 263, décembre 1998.

**18** : Parmi les premiers physiciens recrutés en 1946 ; *Les trois mousquetaires*. De gauche à droite : Michel Trocheris, Claude Bloch, Anatole Abragam et Jules Horowitz.
**19** : Vue aérienne du fort de Châtillon en 1950 avec la pile Zoé.

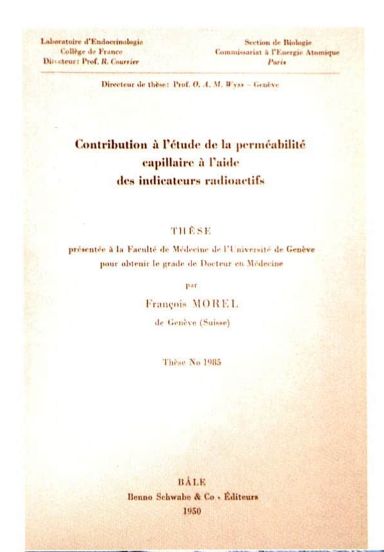

18

19

La divergence de Zoé met l'accent sur un trait qui restera l'une des grandes caractéristiques de la recherche pratiquée au CEA et plus tard à Saclay. Elle souligne l'importance de l'instrument, à la fois objet de recherche dans sa phase de construction, et terrain d'expérimentation permettant de fédérer de multiples disciplines. Après 1948, les équipes du CEA disposent d'un précieux outil leur permettant de réaliser leurs expériences. Une génération entière de physiciens, de chimistes et d'ingénieurs viendra s'initier aux secrets du nucléaire auprès de Zoé. Elle sera également un incomparable instrument pour l'étalonnage des détecteurs et des instruments de mesure. Enfin et surtout, Zoé offre aux chercheurs la possibilité de conduire toutes les mesures et toutes les expériences nécessaires à la réalisation des futurs réacteurs. La pile crée ainsi une formidable dynamique puisqu'elle ne constitue pas une fin en soi, mais s'insère dans un programme plus vaste qui prévoit, dans son sillage, la réalisation d'une pile expérimentale plus puissante, future EL2, puis d'une pile industrielle…

Autre application immédiate, Zoé permet la production de radioisotopes par l'irradiation de diverses substances introduites dans la pile. Le CEA commence immédiatement à livrer aux laboratoires de recherche scientifique, médicaux ou industriels certains radioisotopes, notamment du sodium, du phosphore et du brome radioactifs. *« Le CEA a pu contribuer à développer l'emploi très prometteur des radio-isotopes comme outils de recherche, tout en libérant partiellement le pays des fournisseurs étrangers. »* Cette première production de radioéléments est considérée comme stratégique. Il faut dire que le comité scientifique est particulièrement sensibilisé aux traceurs radioactifs par Frédéric Joliot-Curie et Robert Courrier, qui avaient travaillé sur la question avant guerre. Dès 1937, Frédéric Joliot-Curie s'exprimait à ce sujet dans son rapport en vue de la création du laboratoire de synthèse atomique : *« La méthode des indicateurs, employant des radioéléments synthétiques, permettra d'étudier plus facilement le problème de la localisation et de l'élimination d'éléments divers introduits dans les organismes vivants. Dans ce cas la radioactivité sert uniquement à déterminer la présence d'un élément dans telle ou telle région de l'organisme. Il n'est pas utile d'introduire des quantités importantes de l'indicateur radioactif. »*

S'appuyant sur les premières expériences réalisées dès le début du siècle avec le radium, seul radioélément disponible à l'époque, Frédéric Joliot-Curie et Robert Courrier produisent en 1943, grâce au cyclotron du Collège de France, le premier radioélément artificiel, l'iode 128, et donnent naissance à la première molécule marquée réalisée en France : la thyroxine, une hormone de la thyroïde. Avec la radioactivité artificielle, il est théoriquement possible de rendre radioactifs la plupart des éléments chimiques constitutifs d'une molécule biologique et de les marquer. La technique des marqueurs consiste à remplacer un élément de la molécule par un radioélément (isotope radioactif) qui permet la détection de la molécule tout en ne modifiant pas ses propriétés biologiques. François Morel, premier biologiste recruté par le CEA dès janvier 1948, amorce ses travaux au Collège de France en appliquant le principe des traceurs à l'étude du devenir des composants biologiques dans les organismes. Il ouvre ainsi une voie nouvelle dans l'exploration des fonctions du vivant. C'est le démarrage de la biologie au CEA qui prendra tout son essor en 1953, à partir de la création du Service de biologie, installé à Saclay.



Laboratoire d'Endocrinologie
Collège de France
Directeur: Prof. *R. Courrier*

Section de Biologie
Commissariat à l'Energie Atomique
*Paris*

Directeur de thèse: Prof. *O. A. M. Wyss* – Genève

**Contribution à l'étude de la perméabilité capillaire à l'aide des indicateurs radioactifs**

THÈSE

présentée à la Faculté de Médecine de l'Université de Genève pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

François MOREL

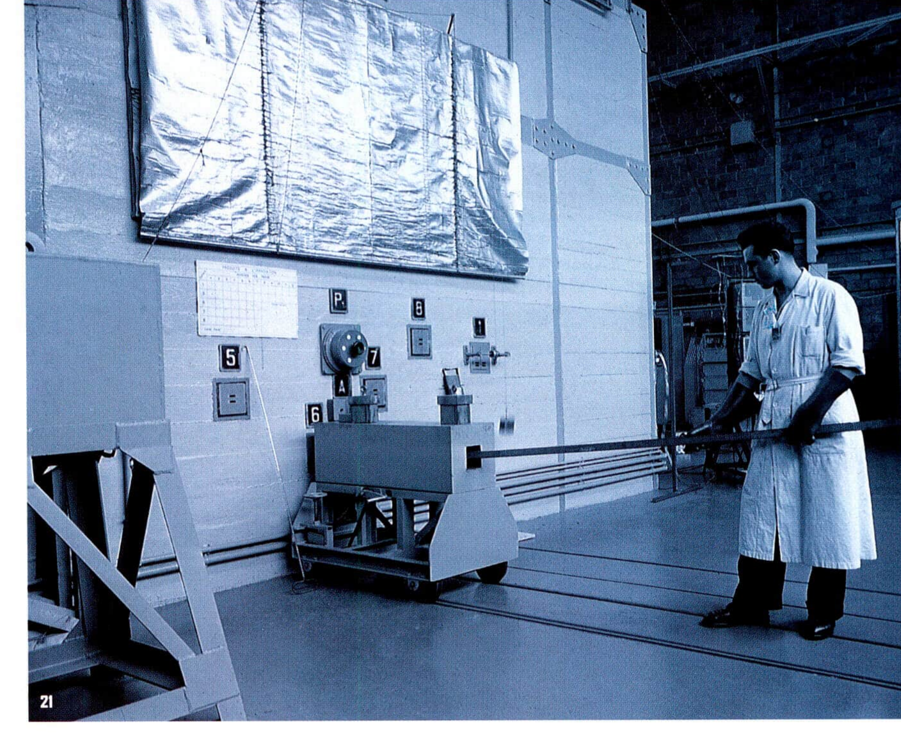
de Genève (Suisse)

Thèse No 1985

BÂLE

Benno Schwabe & Co · Éditeurs

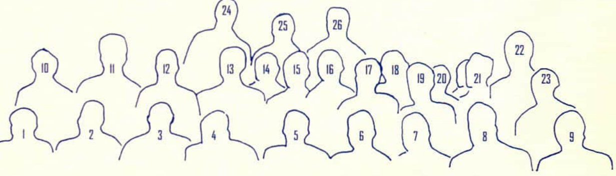
1950




**21** : Défournement des radioéléments d'un canal de la pile Zoé à travers une protection de plomb. La production de ces isotopes permettra la synthèse des traceurs radioactifs utilisés en biologie.

# Zoé, première pile atomique française





**22** : L'équipe Zoé en décembre 1948.
1 : André Ertaud, 2 : Bertrand Goldschmidt, 3 : Maurice Surdin, 4 : Lew Kowarski, 5 : Frédéric Joliot-Curie, 6 : Eugène Le Meur, 7 : Jules Guéron, 8 : Jacques Stohr, 9 : Roland Echard, 10 : José Foglia, 11 : Hubert de Laboulaye, 12 : Roger Martin, 13 : Henry Fauquez, 14 : Edmond Jaly, 15 : Roger Beauge, 16 : Jacky Weill, 17 : Jacques Pottier, 18 : Jules Chimot, 19 : André Berthelot, 20 : Jacques Cordeaux, 21 : Anatole Rogozinski, 22 : Victor Raievski, 23 : Georges Valladas, 24 : Gaston Clairet, 25 : Maurice Nel, 26 : Robert Bonnerue.

C'est à l'intérieur du fort de Châtillon, sur l'emplacement d'une butte arasée, qu'est construit le bâtiment où allait se dérouler la divergence de la première pile française. La construction de la pile proprement dite, installée dans un grand hall d'environ vingt mètres sur vingt, muni d'un pont roulant, est achevée à l'automne 1948. Il s'ensuit l'opération délicate d'introduction dans la pile de l'eau lourde qui doit aboutir à sa mise en marche spontanée. *« Pendant ce remplissage,* explique Francis Perrin dans son rapport scientifique et technique de 1950, *on devait suivre l'accroissement progressif du rayonnement neutronique émis par le système, rayonnement très faible tant que les conditions techniques d'autoamorçage n'étaient pas atteintes et l'on devait procéder avec beaucoup de précaution vers la fin de l'opération, car il aurait été dangereux de dépasser la hauteur critique de l'eau lourde. »*

Après une nuit de travail épuisante et une matinée laborieuse, l'autoamorçage est observé le 15 décembre 1948 à 12 h 12. La première pile atomique française Zoé (pour puissance Zéro, Oxyde d'uranium, Eau lourde) vient de diverger à Châtillon. Un bien joli nom quand on sait qu'elle faillit en porter un bien moins poétique. Ainsi Jacky Weill raconte que *« Lew Kowarski, responsable de la pile, voulait l'appeler "French Low Output Pile". Mais l'ensemble des initiales n'était guère heureux : FLOP [. . .], bien malencontreux présage. D'une puissance Zéro, un combustible en Oxyde d'uranium et modérée à l'Eau lourde, Zoé c'était plus simple, plus familier et surtout plus français. La plaque comportant le nom et la date de naissance fut vissée sur le flanc de la pile par Kowarski lui-même qui avait revêtu pour l'occasion une salopette marron. »* Il faut dire que les pères de Zoé, rassemblés pour la postérité sur une photo restée célèbre, éprouvent une très grande émotion devant cette première pile, résultant de longs mois de travail acharné et collectif. Avec humour, Frédéric Joliot-Curie dira : *« L'atmosphère était analogue à celle qui règne dans une salle d'accouchement. »*

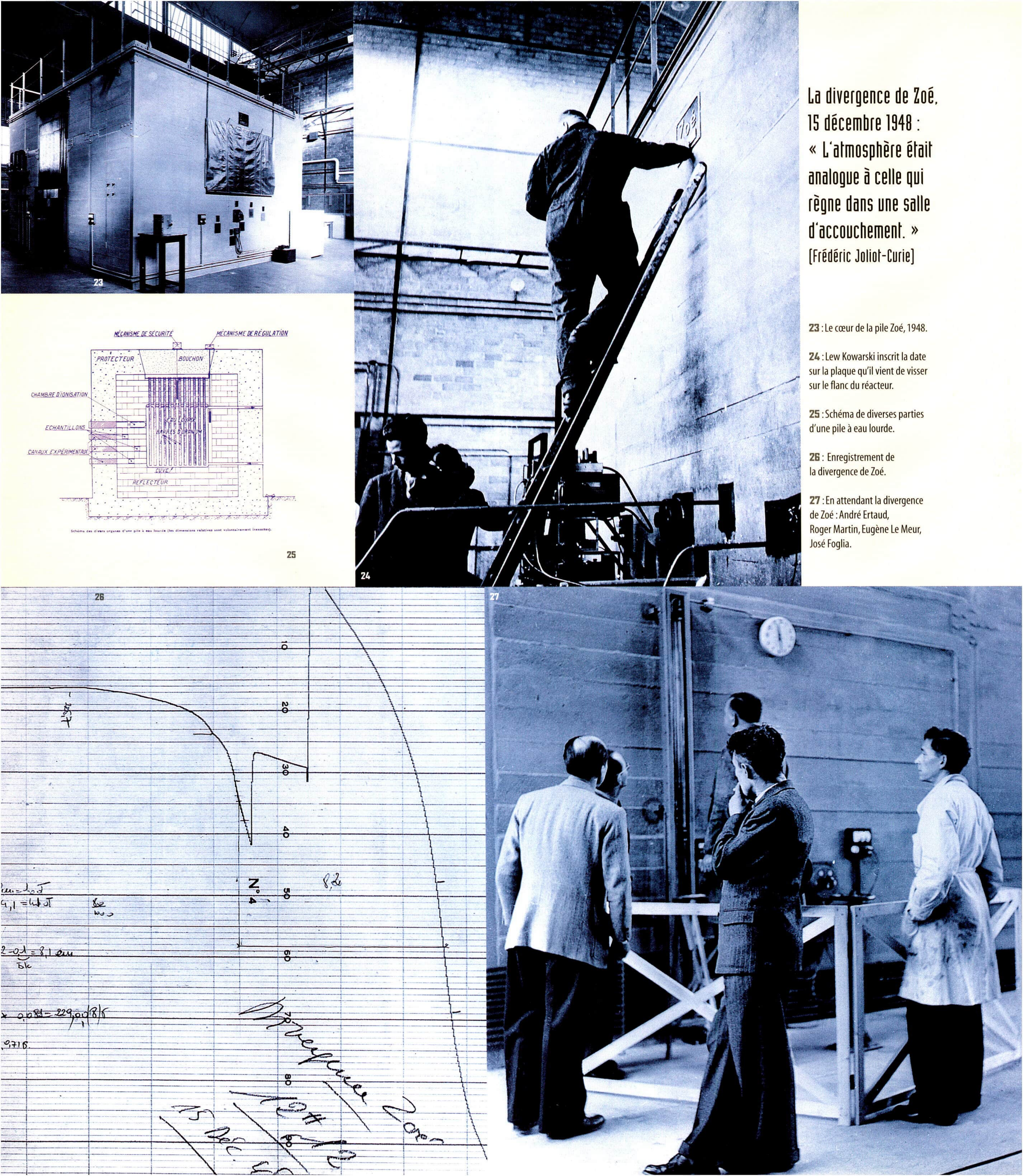
À l'annonce de la nouvelle, l'émotion est à son comble parmi le personnel. *« Peu après midi, les portes s'ouvrirent devant la foule anxieuse du personnel, et Joliot-Curie apparut pour annoncer la victoire. L'ovation qui éclata alors le toucha énormément »*, rapporte Spencer Weart[2].

Le 20 décembre, Lew Kowarski présente fièrement la pile à la presse. Tous les journaux font une large place à l'événement, célébrant une grande avancée technologique française. Lors de l'inauguration de la pile Zoé, quelques jours après la divergence, le président de la République Vincent Auriol termine son allocution par : *« Voici une réalisation qui ajoutera au rayonnement de la France. »* C'est l'heure de gloire des premiers chercheurs du tout jeune Commissariat à l'énergie atomique.

Au niveau scientifique, la pile Zoé représente un formidable champ d'expérimentation pour les scientifiques du CEA. Durant les premiers mois, elle ne fonctionne qu'à une puissance très faible afin de former le personnel chargé de sa conduite puis on procède, après une sorte de période de rodage, à un démontage de vérification. Ce n'est qu'au printemps 1949 que la puissance de Zoé fut portée à sa valeur maximum. *« Durant toute cette période de mise en route, le mécanisme de fonctionnement de la pile fut étudié en détail. Cette étude permit notamment d'adapter ou de développer des méthodes de mesure de la faible absorption des neutrons dans les substances les moins absorbantes »*, raconte Francis Perrin. Zoé ne sera arrêtée qu'en 1974 et aura jusqu'au bout un grand intérêt pour l'acquisition des données nucléaires de base.

---

[2] Spencer Weart, *La Grande Aventure des atomistes français, les savants au pouvoir*, Fayard, 1980.




La divergence de Zoé, 15 décembre 1948 : « L'atmosphère était analogue à celle qui règne dans une salle d'accouchement. » [Frédéric Joliot-Curie]

**23** : Le cœur de la pile Zoé, 1948.

**24** : Lew Kowarski inscrit la date sur la plaque qu'il vient de visser sur le flanc du réacteur.

**25** : Schéma de diverses parties d'une pile à eau lourde.

**26** : Enregistrement de la divergence de Zoé.

**27** : En attendant la divergence de Zoé : André Ertaud, Roger Martin, Eugène Le Meur, José Foglia.

Manne Siegbahn 19.V.1948

L Kowarski 23.4.48

J R Oppenheimer 24/9/48

B. Pontecorvo 13/5/49

Biquard 19-5-49

B. Goldschmidt

12 mai 1949

F Joliot-Curie le 8 avril 1948

I Joliot-Curie 12 mai 1949

I. I. Rabi August 25, 1949

28

Essai de démarrage Zoé 15 décembre 1948

| Heure | Niveau eau | BF3 1 Fg | BF3 2 rad | γ 3 Fg | par min petite BF3 4 rad | petite BF3 5 rad | ΔP ±10 | P1 ±2 | P2 ±1 | Observation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| h 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | Pour démarrage réglé mise à flot, mise en marche pompe, plaque de réglage en haut |
| 22 | | | | | | | | | | eau visible au tube de niveau |
| 30 | 177 | 0 | 0 | 0 | | | +5 | 0 | 0 | |
| 45 | 331 | | | | | | | | | |
| 0 | 476 | 0 | 0 | 0 - ε | ±6 | [illegible] | +5 | 0 | 0 | |
| 15 | 629 | | | | | | | | | |
| 30 | 782 | 0 | 0 | 0 - ε | | | 0 | 0 | 0 | Kowarski estime qu'il serait commencé à monter. |
| 45 | 933 | | | | | | | | | |
| h | 1090 | 0 | 0 | 0 →? | 8 | | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | 1245 | 0 | 6 0,06 | 0 - 6 | 16 | | 0 | 0 | 0 | |
| 30 | 1398 | | | | | | | | | à 9h31 Arrêt pompage pour mesure précise |
| 31 | 1408 | 0 | 61 0,61 | -6 | 57 | | 0 | 0 | 0 | Remise en route pompage 9h38 |
| 38 30 | | | | | | | | | | on donne 1 coup de pompe. |
| 42 | 1444 | 0 | 95 0,95 | -5,8 | 63 | | 5 | 0 | 0 | |
| 49 | | | change échelle démultiplié | | | | | | | Remise en route 9h49 pompe |
| 55 | 1493 | 1 | 12 | -5,2 | 69 | | 8 | 0 | 0 | arrêt 9h55 |
| | | | | | | | | | | [illegible] pompe [illegible] |
| 17 | 1472 | | | | | | | | | Remise en route 10h17 |
| 32 | 1606 | 1.5 | 1,5 | -3,8 | 147 | | 25 | 0 | 0 | Arrêt pompage 10h32 |
| 46 | | | | | | | | | | Remise 10h46 en route |
| 55 | 1678 | 3.5 | 37 | -3,2 | 284 | | 45 | 0 | 0 | Arrêt pompage 10h55 |
| 3 | | | | | | | | | | Remise en marche 11h3 pompe |
| 10 | 1737 | 8,0 | 9,5 | -2.6 | | | 100 | ε | ε | Arrêt 11h10 |
| 15 | | | | | | | | | | Remise en route 11h15 |
| 18 | 1770 | 32 | 26 | -1.7 | 1410 | | 25 250 | 1,5 | 1,5 | Arrêt 11h18 |
| 28 | | | | | | | | | | Remise en marche 11h28 |
| 30 | 1780 | 70 | 58 | -0.8 | 2423 | | 50 500 | 2,5 | 2,5 | Arrêt 11h30 |
| 36 | | | | | | | | | | Remise en marche 11h36 |
| 37 | 1789 | 180 1,8 | 150 | +1,2 | X | | 8 | 8.0 | 8,0 | Arrêt 11h37 |
| | | | | | | | | | | Les appareils donnent des indications croissantes après l'arrêt — Indication divergence ! On attend que la barre de sécurité tombe |
| | | | | | | | | | | Discours Kowarski 12h et [illegible] 12h09'30" avec Joliot |
| 12 | 1794 | | | | | | | | | 12h12 1 coup de pompe |
| 19 | 1799 | | | | | | | | | barre de sécurité 12h19 |

L'heure officielle du début de la divergence probable fixée à 11h37

Divergence 12h12 heure officielle

les barres déclenchent à 0,1 watt.

30

28 : Visite du Président Vincent Auriol, le 21 décembre 1948.

29 : Coupures de presse, 1948.

30 : Notes manuscrites de Frédéric Joliot-Curie pour la divergence de Zoé.

31 : Visite des membres de l'Institut de France en janvier 1949.

29



OICI LA “BANDE A ZOE, CASSEUSE D'ATOM

FRANC-TIREUR PARIS 16 Déc 1948

Voici Zoé

DÉCEMBRE 1948, DATE HISTORIQUE

ier à 12 h. 12 première pile atomique française se mettait en march

“ZOÉ” LA PILE DE CHATILLON AURA SŒUR

Première pile atomique du

ZOÉ FABRIQU

MÈRE DE TOUTES LES PILES ATOMIQUES FRANÇAISES

ZOÉ A « REÇU » HIER, AU FORT DE CHATILLON mais n'a pas dévoilé ses dessous

A PREMIÈRE PILE ATOMIQUE FRANÇAISE

Agée de cinq jours ZOÉ recevait hier dans son berceau austè

Et un haut-parleur traduisait ses vagisse mystérieux

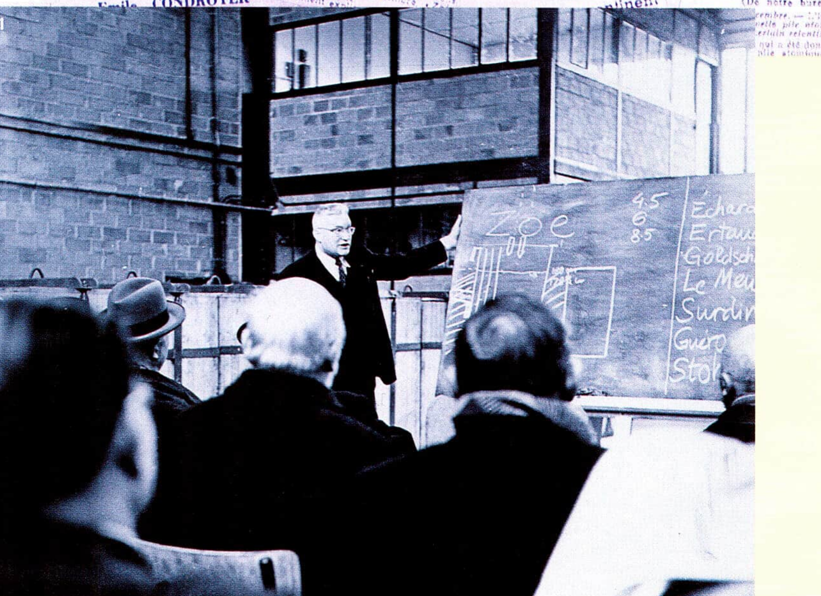
Emile CONDROYER

LE FIGARO — 28 DECEM

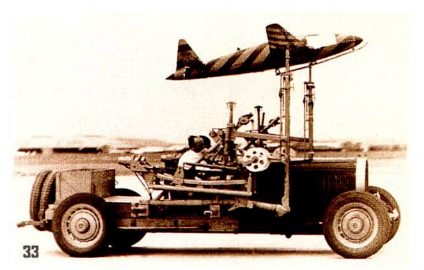
EFLEXIONS BRITANN sur la naissan la pile atomique de C

(De notre bureau de Londres)

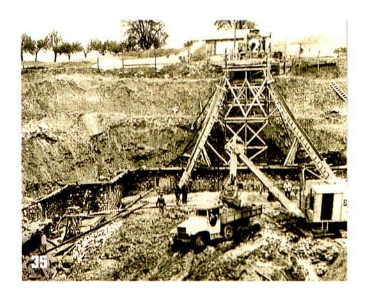
31

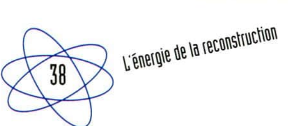


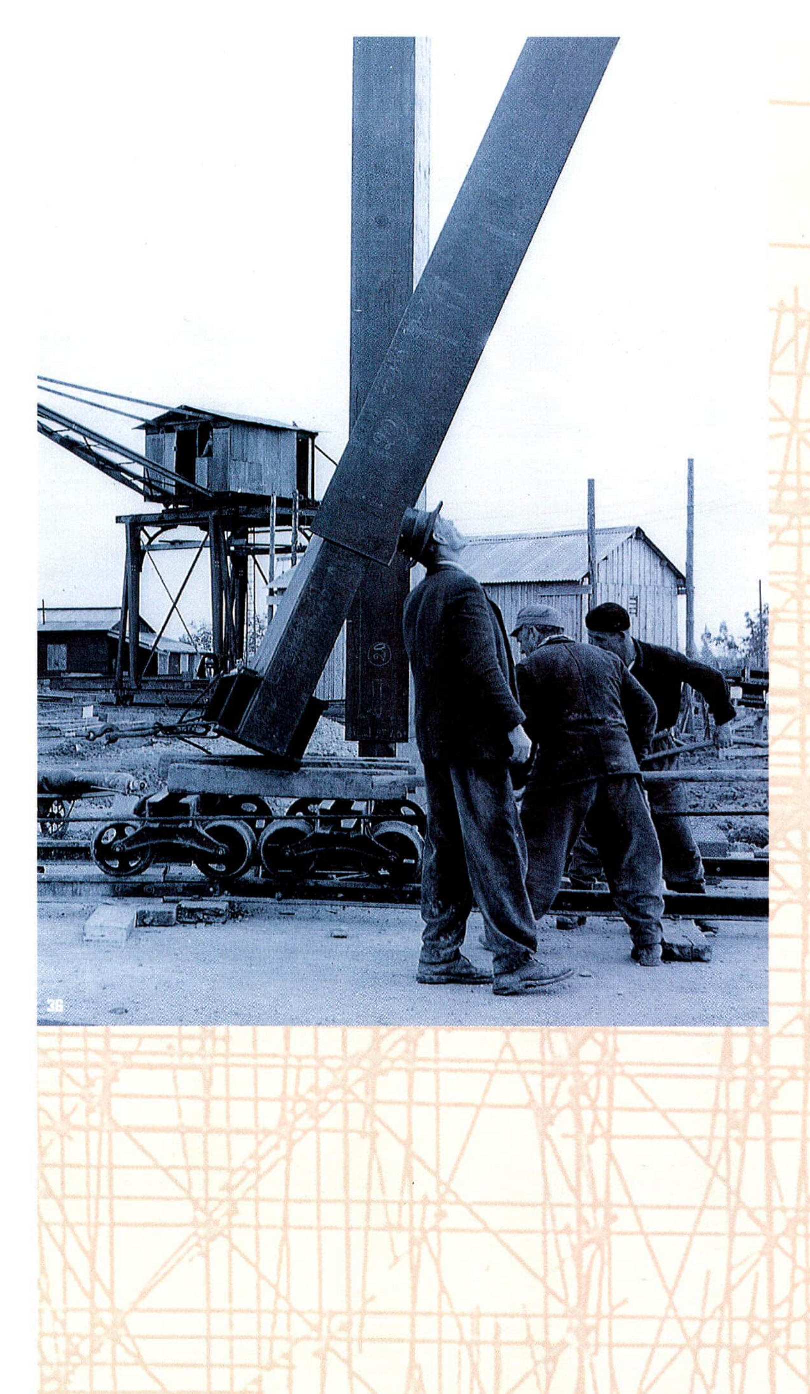
# DES BÂTIMENTS POUR 1 000 ANS











# À la recherche du site

L'ambition et la nouveauté d'un tel organisme justifient l'installation d'un site spécifique, et les membres du comité scientifique envisagent très rapidement la création d'un nouveau centre. Dès le mois de mars 1946, lors de la mise en place du programme du CEA et de l'installation dans le fort désaffecté de Châtillon, la nécessité de trouver un nouveau site s'impose. Parmi les quelques emplacements évoqués à l'époque, un lieu retient l'attention de tous : Saclay. Il s'agit d'un vaste plateau agricole situé entre les vallées de la Bièvre et de l'Yvette, une région où Frédéric et Irène Joliot-Curie aiment se promener.

L'emplacement présente de nombreux avantages. Il est situé dans une zone encore très peu urbanisée, à proximité de la banlieue sud considérée encore comme une « région résidentielle », à la différence des autres banlieues où les industries sont groupées. Isolé de la ville, Saclay est cependant suffisamment proche de certains laboratoires et établissements installés ou en voie d'installation : l'ONERA à Châtillon et à Saclay, le centre de biologie du CNRS à Gif-sur-Yvette, le centre d'études agricoles à Jouy-en-Josas, et de petites entreprises comme la Société française d'instruments de mesure à Massy et la Société du radium à Gif-sur-Yvette. Enfin, le charme de la région n'est pas pour déplaire à Frédéric et Irène Joliot-Curie, particulièrement soucieux du cadre de vie des chercheurs. *« Les beaux villages des deux vallées qui l'encadrent, bien desservis par le métropolitain et à l'abri des vents qui balayent le plateau, sont particulièrement propres à la résidence de travailleurs, et Gif, qui est l'un des plus beaux de ces villages et le plus proche, en sera naturellement le centre le plus important »*, peut-on lire dans le rapport d'activité 1946-1950. Seul inconvénient, le plateau est très exposé au vent et, en hiver, la température moyenne atteint quelques degrés de moins qu'à Paris. Raoul Dautry aurait dit un jour : *« Si Saclay n'a pas été habité depuis des siècles, c'est sans doute parce que c'est inhabitable… »*

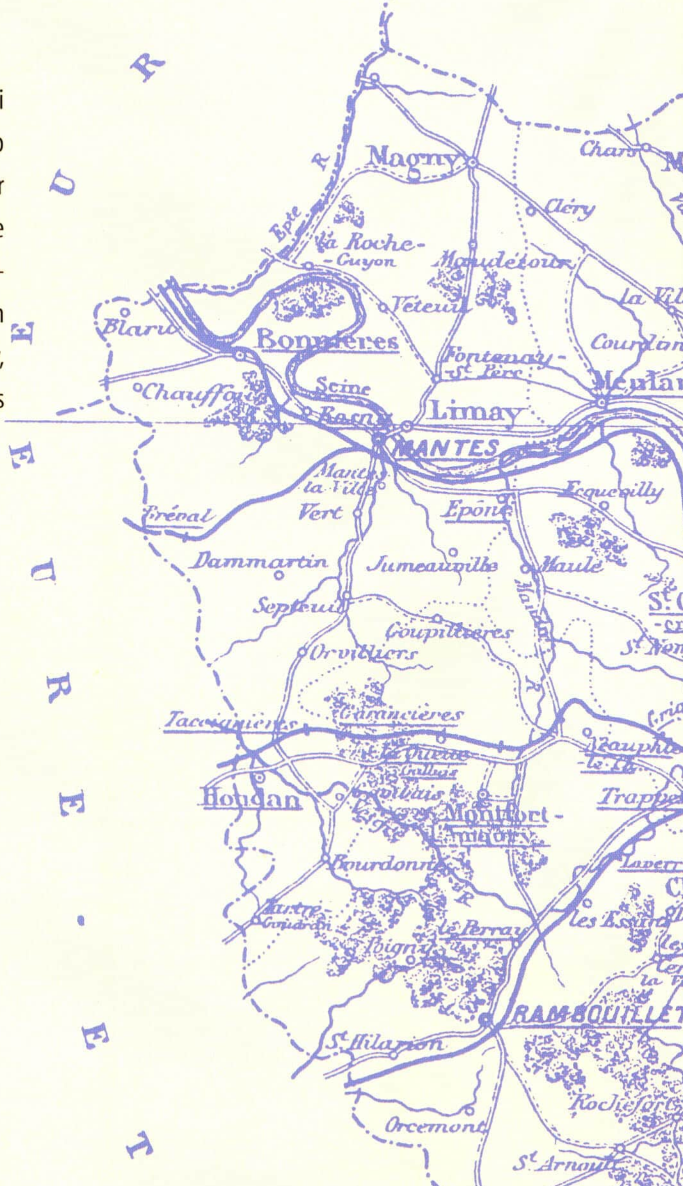
**32** : Le village de Saclay en 1950.
**33** : Essai sur une Bugatti d'une maquette télécommandée motorisée au Centre d'essais en vol en 1953.
**34** : Vue aérienne de l'ONERA. Châtillon en 1949.
**35** : Les premières fondations du site de Saclay.
**36** : Le chantier de Saclay en octobre 1955.

# Sarcleyum, Saclé, Saclay... histoire d'un plateau

Le plateau de Saclay apparaît, avant l'installation du Centre d'études nucléaires de Saclay, comme une terre agricole relativement isolée des alentours. À l'exception des quelques maisons au carrefour du Christ de Saclay et d'un pavillon de chasse, le reste du plateau est en grande partie inhabité. Des recherches archéologiques entreprises au voisinage et à l'intérieur du centre en 1978-1979 ont permis de mettre à jour le site gallo-romain des Marnières, une voie pavée du XVII<sup>e</sup> siècle, puis une seconde route pavée utilisée aux XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles et, enfin, un troisième chemin qui serait d'origine antique. Sous le règne de Louis XIV, Colbert fait creuser les étangs de Saclay et construire l'aqueduc des Mineurs et l'aqueduc de Buc pour alimenter les fontaines du château de Versailles...

À l'aube du 24 août 1944, la division Leclerc, en marche vers Paris, s'arrête sur le plateau. Le sous-groupement Minjonnet attend, déployé de part et d'autre de la route de la crête de Chateaufort, en faction au carrefour de Saclay. Il reçoit la mission de foncer directement à travers champs sur Jouy-en-Josas entre les fortes défenses allemandes de Toussus-le-Noble et du Christ de Saclay. À 17 heures Jouy-en-Josas est définitivement libéré et la marche sur Paris continue...

Deux ans plus tard, le plateau va faire reparler de lui quand le jeune Commissariat à l'énergie atomique, trop à l'étroit dans le fort de Châtillon décide d'y implanter son principal centre d'études nucléaires. Le 11 décembre 1946, un arrêté paraît au *Journal officiel*, déclarant d'utilité publique l'acquisition de deux terrains situés en bordure de la RN 306 et sis sur les communes de Saclay, Villiers-le-Bâcle et Saint-Aubin pour y installer les services scientifiques et industriels du CEA.




**37** : L'église de Saclay, XII<sup>e</sup> siècle.

**38** : Le plateau de Saclay est une table calcaire limitée au nord par la vallée de la Bièvre, au sud-ouest par la vallée de la Mérantaise, au sud par la vallée de l'Yvette. Ce plateau de 150 m d'altitude moyenne n'est pas limité vers l'est.





# Une cité de la recherche atomique s'élèvera aux portes de Paris

"le Monde", 4 février 1947

*« Au sud de la capitale, entre les vallées de la Bièvre et de l'Yvette, s'étend le plateau de Saclay. Morne, plat, coupé par un marécage, il ne lui manque, en ces jours de neige, qu'un canon embourbé et quelques corbeaux au ciel pour ressembler aux champs de bataille des lithographies napoléoniennes. La terre y est fertile, et les blés, l'été, y ondulent à perte de vue.*

*Le décret du 11 décembre dernier a déclaré d'utilité publique l'acquisition de cent cinquante hectares sur le plateau, pour la création d'un centre d'études expérimentales sur l'énergie atomique. Les habitants des deux vallées, hantés – et c'est compréhensible – par le spectre d'Hiroshima, le souvenir de Bikini et la crainte terrible d'une "désintégration en chaîne" s'émurent. Les maires élevèrent des protestations. Ne risquait-on point à la fois de mettre en péril les populations environnantes et de défigurer entièrement ce coin champêtre de l'Île-de-France ? »*

Le journaliste, Jean Planchais répond en citant Raoul Dautry : *« Nous n'avons hélas qu'un très petit nombre de savants spécialisés dans les problèmes atomiques. Ils ne peuvent aller faire chaque jour une ou deux heures de cours sur le plateau de Millevaches ou dans les Alpes. C'est pourquoi nous avons voulu placer le nouvel institut sur la rive gauche de la Seine, dans le prolongement du Quartier latin et du fort de Châtillon. Il s'élèvera à vingt kilomètres de la capitale. Sur un premier emplacement seront bâtis les laboratoires. Tout à côté sera construite une cité qui abritera les élèves, les techniciens, le personnel d'entretien et leur famille. Ces demeures seront plus proches des laboratoires qu'aucune des agglomérations environnantes. La proximité du centre d'études ne présente donc, je le répète, aucun danger, ni d'explosion, ni d'action nocive des particules radioactives. Deux mille personnes vivront ainsi sur le rebord du plateau près de Gif. »*






**39** : La gare RATP la plus proche du site de Saclay.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Expropriation pour cause d'utilité publique

# Installation de Services scientifiques et semi-industriels du Commissariat à l'Énergie Atomique

**et Logement du Personnel affecté à ces services**

à SACLAY, VILLIERS-LE-BACLE
SAINT-AUBIN et GIF-sur-YVETT

Publication de l'Ordonnance d'Expropr





**40** : L'université de Berkeley inspirera les concepteurs de Saclay. Sur cette photo, qui date des années 60, on voit le cyclotron à gauche et le bévatron à droite du Laurence Radiation Laboratory.

**41** : Entrée principale du centre de recherches hydro-biologiques du CNRS à Gif-sur-Yvette, établi depuis 1946.

Si le CEA est convaincu d'avoir trouvé le site idoine, encore faut-il convaincre les paysans du plateau qui voient le projet d'un très mauvais œil. En ces temps de rationnement et de pénurie, on reproche au Commissariat de chercher à soustraire à la production des parcelles agricoles considérées par certains comme les meilleures terres à blé de la région, sinon de France. Cette opposition trouve rapidement des échos auprès de l'opinion publique qui, impressionnée par les bombes d'Hiroshima et de Nagasaki, est assez réticente à l'idée de voir un centre d'études nucléaires s'installer aux portes de la capitale. Face à l'inquiétude que suscite la future « cité atomique », Frédéric Joliot-Curie et Raoul Dautry cherchent d'abord à rassurer. Le 17 février 1947, le prix Nobel fait une intervention remarquée devant le comité d'aménagement de la région parisienne à laquelle assistent tous les maires de la région. Il répond point par point aux arguments des opposants. Sur la question concernant la suppression de plusieurs hectares de blé, il rétorque qu'il a *« calculé que cela représentera un quart de grain de blé par Français »*.

Les propos sur les questions de sécurité se veulent tout aussi rassurants. Ils montrent aussi à quel point le danger de la radioactivité reste encore sous-estimé, comme le remarque Michel Pinault dans son ouvrage sur Frédéric Joliot-Curie. Ce dernier cite la pile de Fermi installée *« sous les gradins d'un stade »* ou la pile de Hanford près de laquelle *« séjournent et travaillent néanmoins, sans aucun danger, des milliers de personnes »*. C'est pourquoi il ne voit aucune difficulté à envisager l'installation d'une pile expérimentale à Saclay. Joliot-Curie écarte aussi tous les dangers liés aux déchets, *« les produits les plus radioactifs sont aussi nécessairement les plus fugaces : ils se détruisent spontanément très vite »* et aux rayonnements qui *« ne traversent pas les murs »*. Durant plusieurs mois, la direction du CEA déploie de nombreux efforts pour convaincre les derniers récalcitrants. *« Certains d'entre nous furent mobilisés par Joliot-Curie pour défendre le projet. Pendant près d'un an, ils se transformèrent en conférenciers tant à Paris que dans la région de Saclay ; puis Jacques Noetzlin, châtelain de Gif, vieil ami des Joliot-Curie et qui connaissait bien les propriétaires de la région, leur suggéra d'agir auprès des propriétaires. Il aida ainsi beaucoup plus efficacement à acquérir enfin ces terrains »*, se souvient Jacques Labeyrie. Enfin, le comité d'aménagement local et le Conseil d'État donnent un avis favorable au projet. Le 15 avril 1947, l'expropriation d'un ensemble de terrains nus d'une surface de 175 hectares est prononcée, moyennant une indemnité de quarante-deux millions de francs.

# Une Thélème idéale pour les chercheurs

*« Des villes entières sont créées au milieu d'une campagne et là, plusieurs milliers de techniciens, de physiciens, de chimistes, de métallurgistes, de théoriciens vivent en commun. Ils prennent leurs repas ensemble et le directeur prend aussi son repas au milieu d'eux. Ils sont à peu près isolés du monde. C'est une grande communauté, sorte de couvent moderne, dans laquelle tout est subordonné au seul but de la mise en valeur de l'énergie nucléaire. Ceux qui peuvent visiter l'établissement le plus proche, celui de Harwell, en Angleterre seront frappés par ces caractères : ils ne correspondent pas nécessairement à un abaissement de l'homme ; le travail n'est pas moins qualitatif qu'ailleurs, bien au contraire. La spécialisation y est très poussée, mais il vaut mieux savoir quelque chose de façon parfaite, être le meilleur dans le monde dans un domaine étroit, plutôt que d'avoir une teinture superficielle de beaucoup de choses et s'imaginer que l'on est cultivé. Le travail communautaire possède des vertus que les individualistes ne peuvent soupçonner indépendamment des possibilités d'amélioration du caractère dues aux nécessités de la vie en commun ; il y a, dans une grande œuvre entreprise ensemble la même foi collective que dans une grande exploration entreprise par les marins d'un même navire ».*

C'est pour réaliser de telles conditions, qui sont les plus propres à la grande œuvre scientifique qui y sera poursuivie pendant de longues années et doit faire honneur à la France, que le choix des terrains où s'édifieraient les installations scientifiques et les habitations du personnel, les plans, l'architecture, le cadre, ont fait l'objet d'études minutieuses. (extrait du rapport d'activité 1946-1950).

## Au carrefour de plusieurs influences

Malgré leurs sensibilités différentes, Raoul Dautry et Frédéric Joliot-Curie s'accordent sur un point. Il s'agit d'édifier des bâtiments « pour 1 000 ans », dont la conception architecturale soit à la mesure de l'ambition du nouvel organisme. Il ne s'agit pas de réaliser de simples bâtiments, fonctionnels et pratiques, mais d'élaborer un véritable « palais de la science », un « petit Versailles » entièrement dédié aux nouvelles sciences de l'atome. Isolé sur son plateau, le futur centre doit former un « tout », un ensemble cohérent tenant compte à la fois des impératifs techniques et scientifiques et aussi des aspects humains. Cette conception s'inscrit dans la lignée des cités idéales et phalanstères imaginées par les utopistes. Elle s'inspire aussi des principes qui fondent outre-Atlantique les campus universitaires, installés loin des centres villes. Citant Louis Leprince-Ringuet, Raoul Dautry insiste dans le rapport 1946-1950 sur l'importance du modèle des campus anglo-saxons et notamment *« l'exemple de Berkeley, l'un des plus parfaits parmi ceux que l'on puisse observer, nous donne la vision particulièrement claire de ce que seront la science, la technique et l'invention de demain ».*

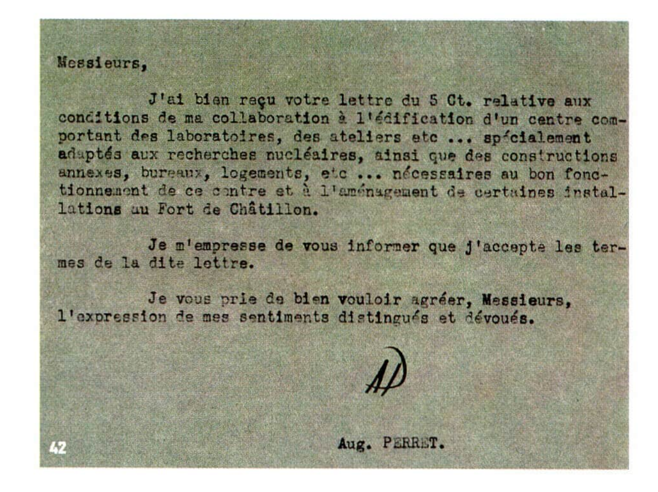
Le modèle du campus illustre parfaitement l'idée d'un nouvel organisme de recherche, généraliste et non cloisonné. Les rares chercheurs qui ont pu tester la formule sont séduits et la décrivent de façon très idéalisée… *« De tels ensembles sont extrêmement purs. Ils représentent avec perfection cette nécessité du travail collectif et, même, de l'invention collective ; les réunions intellectuelles sont fréquentes : toutes les semaines et même parfois chaque jour, il y a des colloques où sont échangés tous les renseignements, toutes les indications, où sont repensées les expériences, terrain fertile où germent les inventions. »* La formule paraît d'autant plus attrayante qu'elle est particulièrement adaptée aux nouvelles recherches physiques et nucléaires qui nécessitent la mobilisation de multiples compétences en un lieu unique et isolé du reste de la communauté pour des raisons de sécurité.

## Des plans aux bétonnières

Le choix de celui qui va dessiner le futur centre se révèle laborieux. Raoul Dautry recommande Urbain Cassan, polytechnicien et architecte avec qui il travaille depuis plus de dix ans, tandis que Joliot-Curie lui préfère Robert Chevallier, employé par de nombreuses mairies communistes et à qui il a confié la réalisation du laboratoire d'Évry. Pierre Auger et Francis Perrin sont eux favorables à Germain Debré, architecte du Laboratoire de biologie physico-chimique de la rue Pierre et Marie-Curie à Paris, mais ce dernier décède. Faute de pouvoir trancher, le haut-commissaire

et l'administrateur général décident de créer une agence d'architecture qui réunira les architectes concernés... Mais la formule ne satisfait guère Étienne Bauer, nommé directeur des travaux de Saclay au printemps. Dès mai 1947, il évoque la possibilité d'une renégociation du contrat passé avec l'agence d'architecture. À ses yeux, *« les conditions consenties sont trop onéreuses et manquent de souplesse »* et il évoque la nécessité de définir le rôle respectif de l'agence et du CEA dans l'aménagement du futur centre.

Imaginé à partir des quelques idées exprimées et des croquis de Joliot-Curie, l'avant-projet est présenté au mois de juin 1947 au comité scientifique. Devant les plans, les critiques fusent et la décision est prise de modifier l'agencement de l'ensemble. *« Pour les laboratoires de Saclay, le comité constate que les plans fournis n'ont pas tenu compte du croquis de Joliot-Curie. En particulier, les laboratoires ont été rapprochés de la grand route, les bâtiments d'essais industriels rapprochés de ceux de la recherche scientifique »*, lit-on dans le compte-rendu du 4 juin 1947. Étienne Bauer insiste sur le fait que désormais les directives du comité doivent être données sous forme d'un programme écrit. De même, il est prévu de faire passer des questionnaires aux différents services pour cerner les besoins de chacun. En attendant, l'agence effectue un travail préliminaire pour déterminer les possibilités d'alimentation en eau, le problème de l'évacuation des eaux résiduelles... C'est à cette époque que sont débattues les grandes priorités qui doivent présider à l'organisation du lieu. Irène Joliot-Curie estime que le passage entre ces laboratoires devra être « aisé », Francis Perrin estime *« qu'ils pourraient être en trois rangées dans trois bâtiments parallèles reliés entre eux par des couloirs perpendiculaires »*... L'idée du bâtiment en H est déjà dans l'air. Ces discussions ne vont pas sans quelques désaccords. Ainsi Irène insiste sur la priorité que constitue le logement du personnel en ces temps de crise. Une propriété de 7 hectares est achetée à Gif-sur-Yvette pour la construction de logements et l'aménagement d'un terrain de 7 hectares est prévu à Châtillon pour y installer des chalets en bois. Malgré l'avis de Francis Perrin, qui *« regrette de voir utiliser pour un achat qui n'est pas d'une nécessité immédiate une somme importante qui pourrait faire défaut pour des constructions à usage scientifique »*.



Messieurs,

J'ai bien reçu votre lettre du 5 Ct. relative aux conditions de ma collaboration à l'édification d'un centre comportant des laboratoires, des ateliers etc ... spécialement adaptés aux recherches nucléaires, ainsi que des constructions annexes, bureaux, logements, etc ... nécessaires au bon fonctionnement de ce centre et à l'aménagement de certaines installations au Fort de Châtillon.

Je m'empresse de vous informer que j'accepte les termes de la dite lettre.

Je vous prie de bien vouloir agréer, Messieurs, l'expression de mes sentiments distingués et dévoués.

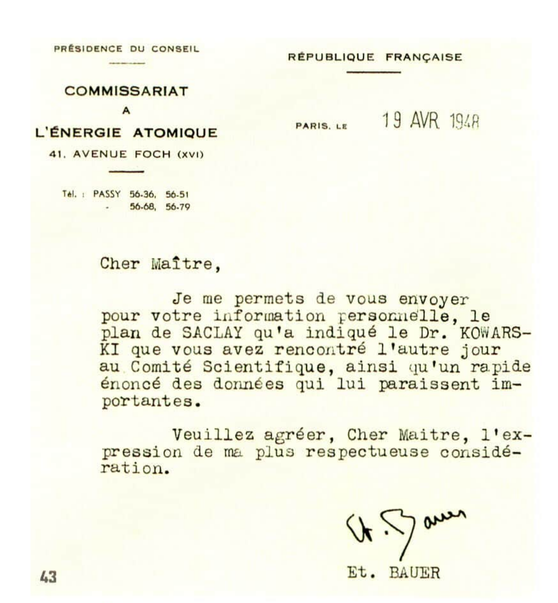
Aug. PERRET.

42

**42** : Lettre d'Auguste Perret adressée à Raoul Dautry et à Frédéric Joliot-Curie le 7 juillet 1948.

**43** : Lettre adressée à Auguste Perret par Étienne Bauer, chargé des relations entre le CEA et les architectes.

**44** : Coupes du bâtiment de la pile P2 (EL2), 2 mars 1950.



PRÉSIDENCE DU CONSEIL

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE
41, AVENUE FOCH (XVI)

Tél. : PASSY 56-36, 56-51 / 56-68, 56-79

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PARIS, LE 19 AVR 1948

Cher Maître,

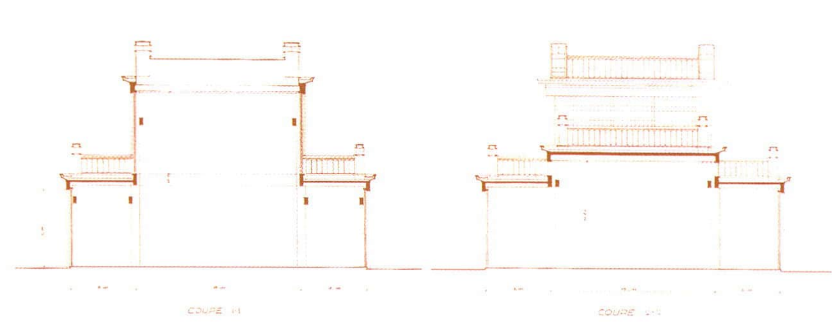
Je me permets de vous envoyer pour votre information personnelle, le plan de SACLAY qu'a indiqué le Dr. KOWARSKI que vous avez rencontré l'autre jour au Comité Scientifique, ainsi qu'un rapide énoncé des données qui lui paraissent importantes.

Veuillez agréer, Cher Maître, l'expression de ma plus respectueuse considération.

Et. BAUER

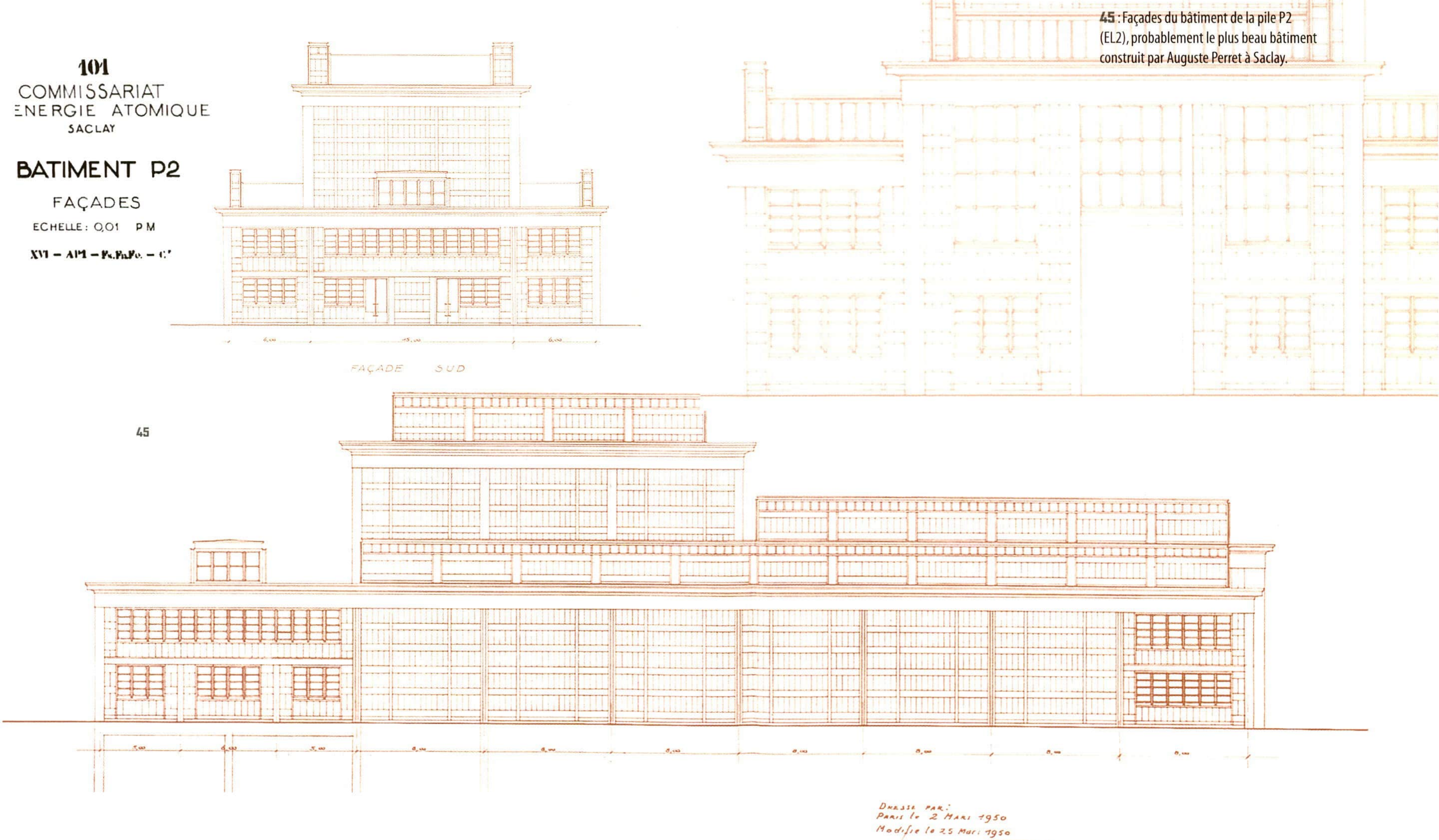
43

44



La maîtrise d'ouvrage architecturale change quand l'administrateur général et le haut-commissaire, las des rivalités entre les architectes, décident de recourir aux services du très prestigieux Auguste Perret. Depuis qu'il a orchestré la reconstruction de la ville du Havre, la réputation de ce dernier, membre de l'Institut et président du conseil de l'ordre des architectes n'est plus à faire. Le 4 décembre 1947, Étienne Bauer évoque la rencontre qu'il a eue avec Auguste Perret et précise que ce dernier est tout à fait disposé *« à prêter en tant que conseiller son concours à l'étude des plans »*. Au printemps 1948, les plans présentés par Urbain Cassan reçoivent un accueil mitigé et sont vivement critiqués par Auguste Perret, qui leur reproche leur *« conception vieillie »*. Frédéric Joliot-Curie souligne alors l'importance de la réussite de l'architecture de Saclay, tant du point de vue scientifique et technique qu'artistique. Pourquoi le CEA ne demanderait-il pas à l'architecte de réaliser *« un véritable parti pris »* ?... Les jeux sont faits. Sur la base des instructions précises données par le Comité scientifique, le plan du centre sera réalisé par Auguste Perret.

Au fil des semaines, le comité scientifique établit ainsi les grandes lignes de ce que sera le programme général du site, déterminé en partie par les impératifs scientifiques. Il prévoit dans une première phase la construction du bâtiment P2 pour la seconde pile, de deux bâtiments pour les accélérateurs (cyclotron et Van de Graaff) et d'un certain nombre de bâtiments et d'installations indispensables au démarrage du site : des ateliers et des magasins, une chaufferie centrale, un réseau de galeries desservant en canalisations d'égouts, d'eau, d'électricité, de téléphone et de chaleur, un garage, un service médico-social, une cantine et le bâtiment d'administration. Dans une deuxième phase, on envisage la construction d'ici 1955 de plusieurs grands laboratoires de physique, de chimie, de technologie, d'électronique et de biologie afin de transférer la majeure partie des scientifiques de Châtillon à Saclay. Ces données préliminaires étant définies *in abstracto*, il revient désormais à l'agence d'architecture de les exprimer dans le plan masse.




**45** : Façades du bâtiment de la pile P2 (EL2), probablement le plus beau bâtiment construit par Auguste Perret à Saclay.

45

La définition de ce dernier n'est pas facile à réaliser. « *Ce plan de masse, dont l'importance est capitale,* écrit Raoul Dautry, *demanda du temps et ne fut évidemment pas sans provoquer de longues et complexes discussions.* » Un premier débat est vite tranché entre les « légers » et les « durs ». Jules Guéron raconte que « *les premiers proposaient, sur un terrain sommairement quadrillé et viabilisé, des bâtiments du genre de ceux de l'annexe de Châtillon, que l'on n'hésiterait pas à démolir et à remplacer à mesure que se préciseraient les besoins. Les autres (atteints disions-nous irrévérencieusement du "complexe de Versailles") tenaient pour une construction en dur et un plan quasi urbain. J'entends encore Perret me dire : "Vous ne voulez tout de même pas que les bâtiments aient l'air parachutés" !* » L'architecte désire, selon ses termes, réaliser « *un abri permanent à la ligne monumentale, à l'intérieur duquel les utilisateurs pourront faire ce qu'ils désirent* ».

Fortement soutenue par Frédéric Joliot-Curie et par Raoul Dautry, la conception d'Auguste Perret l'emporte sans coup férir. L'influence d'Irène Joliot-Curie sur le projet est déterminante. La scientifique pèse de tout son poids pour que soient replantés des arbres à l'emplacement du bassin où existait un petit bosquet. Finalement, près de 5000 arbres seront plantés sur le site. Irène participe aussi activement à toutes les discussions sur le volet social du projet, qu'il s'agisse de la crèche ou des logements sociaux. Une idée primordiale guide les concepteurs du site : « *L'harmonie des édifices convenant à cette reine nouvelle qu'est la science, et l'élément naturel qu'apporte la végétation qui fournit un cadre à la méditation et au repos de l'esprit.* » Pour réaliser cet idéal, les commissaires choisissent de prendre le temps qu'il faut... « *Nous ne devions pas, pour gagner quelques mois dans le report de Châtillon à Saclay, faire du "semi-provisoire" ou de "l'à-peu-près", mais faire une "faculté atomique", parfaite et durable.* »

Les grandes lignes définies, l'agence établit les premières esquisses du plan de masse qui sont soumises aux commissaires scientifiques. Elles sont longuement discutées, plusieurs fois modifiées... Le plan de masse est finalement approuvé le 12 mai 1948 par le Commissariat à l'énergie atomique. Enfin, l'étude des « programmes d'aménagement de détail » des bâtiments proprement dits est confiée à un comité qui deviendra le Groupe d'équipement de Saclay (GES), chargé de suivre tous les aspects techniques de l'aménagement du site. « *La direction de ce vaste travail est là encore confiée au solide Surdin, comme disait Joliot-Curie qui était plein d'admiration, à juste titre, pour les qualités d'organisateur de celui-ci* », se souvient Jacques Labeyrie. Le GES étudie les équipements techniques et propose des « prototypes » pour tous les appareils sanitaires. Résultat : les études des équipements intérieurs des édifices sont poussées dans leurs moindres détails, notamment pour tout ce qui concerne l'aménagement des laboratoires : paillasses, distribution des fluides, installation des appareils... De leur côté Étienne Bauer et Valetaud, membres du GES, sont chargés des rapports entre l'agence d'architecture et les entrepreneurs.

Après un large appel à la concurrence lancé auprès de trente-six sociétés françaises, le marché est finalement confié à un consortium de six entreprises. Le chantier est officiellement mis en route au mois de juillet 1948, cinq mois à peine avant la divergence de Zoé. Pour orchestrer le tout, des réunions hebdomadaires de chantier, généralement fixées le jeudi, se tiennent sur le site. Elles regroupent, outre les représentants du CEA, les architectes, les entrepreneurs, les sous-traitants et un représentant du bureau Veritas. Jules Guéron se souvient de l'ambiance parfois un peu lourde de ces réunions : « *Elles étaient souvent animées, parfois orageuses. Perret y manquait rarement, malgré son âge et en dépit des intempéries. Il restait en dehors des disputes et, comme un jour je m'excusais de l'avoir laissé seul, dans le vent, pendant une joute un peu vive, il répondit avec son calme un peu dédaigneux : "Pendant ce temps, j'ai trouvé un très beau gris." Ce fut la couleur des peintures de Saclay* [3].»

Les débuts du chantier s'avèrent difficiles. Il fallut d'abord s'accommoder des « *surprises dues au terrain, dont de nombreux sondages n'avaient pas révélé toutes les irrégularités, et qui rendirent difficiles les terrassements profonds notamment pour le cyclotron qui a exigé une fouille de 70 m × 60 m × 13 m de profondeur* », précise Raoul Dautry dans son rapport. Cependant, malgré un hiver 1949-1950 particulièrement rigoureux, pendant lequel chacun prend la mesure de la vie à mener sur un plateau balayé par les vents, le programme des travaux est à peu près respecté jusqu'aux premières semaines de 1950. Au printemps 1950, la forte agitation syndicale qui règne en France dans le sillage de la guerre de Corée n'épargne pas le chantier. Les grèves se multiplient et troublent la bonne marche des travaux. Ces arrêts de travail obligent à suspendre certaines opérations, comme le coulage du béton, qui doivent être conduites d'une seule traite au risque de nuire à la stabilité de l'ouvrage. De concert avec l'agence d'architecture et les deux bureaux de contrôle Veritas et Securitas, la direction prend des mesures draconiennes. Le 22 février 1950, afin d'éviter tout risque, les travaux sont suspendus. Le chantier ne rouvrira que le 17 avril 1950, « *avec un effectif réduit, localisé sur un petit nombre de chantiers de bâtiments (notamment P2 et accélérateur), afin de ne pas disperser la main-d'œuvre et la rendre ainsi moins vulnérable aux pressions* ». Les travaux se concentrent en priorité sur les équipements indispensables au fonctionnement du centre et aux installations scientifiques considérées comme prioritaires : le cyclotron, le Van de Graaff et la pile.

[3] Cité dans *Jules Guéron, aperçus d'une vie dans un monde de mutation* de Georges et Maurice Guéron, 1991.



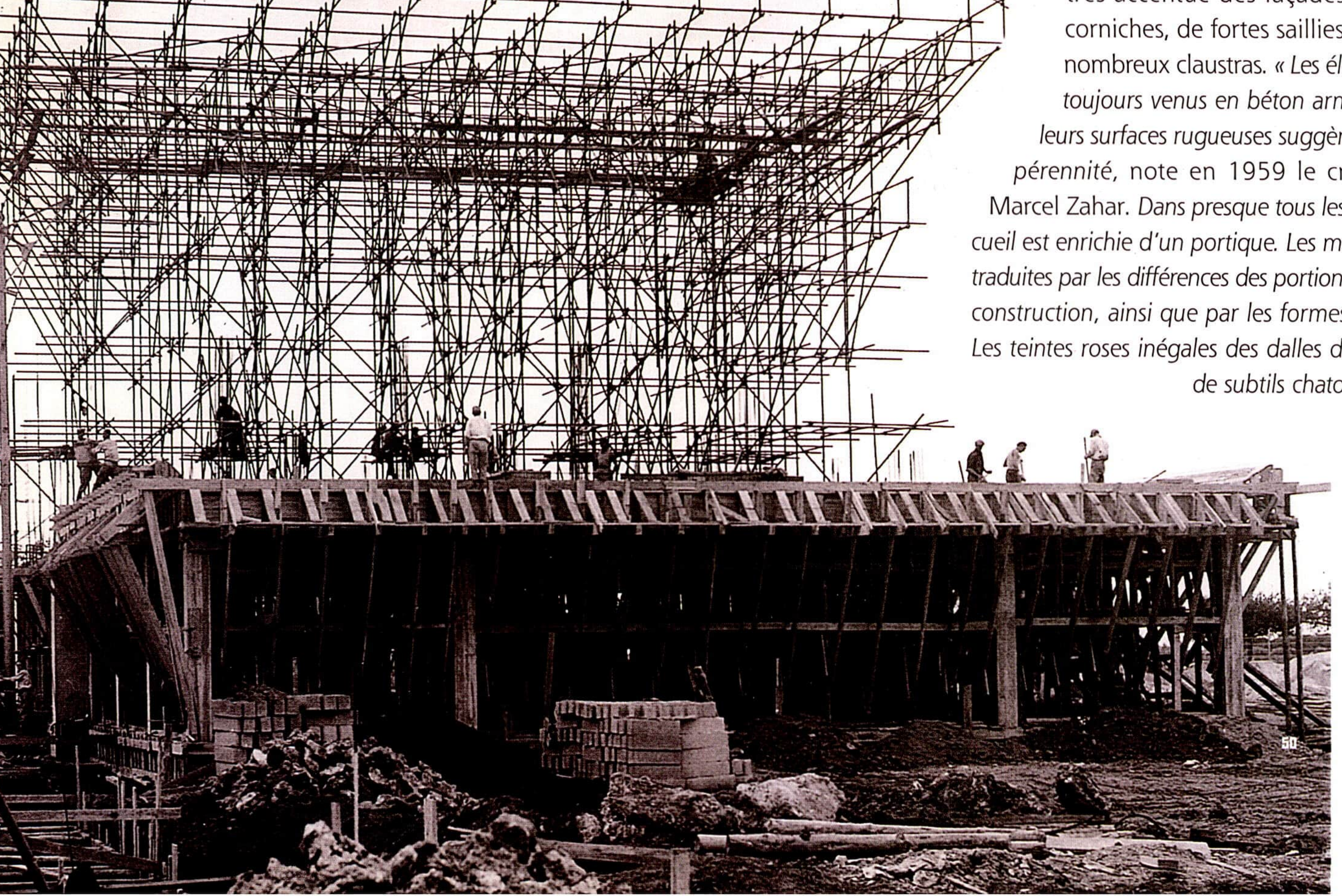

46 : Les trois frères Perret : Auguste, Gustave et Claude dans leur atelier.
47 : Raoul Dautry et Frédéric Joliot-Curie installés sur la machine pour le premier coup de bulldozer des travaux du centre d'études nucléaires de Saclay.
48 : Maurice Surdin, responsable du groupe d'équipement de Saclay en charge de l'aménagement du site.
49 : Dessin des plantations par Auguste Perret, 21 juillet 1948.

## Le palais de la science

En imaginant les plans de la cité atomique, Auguste Perret se serait paraît-il inspiré du château de Versailles, situé à quelques kilomètres de Saclay... (La « patte d'oie», que l'on retrouve devant le bâtiment de la direction, rappelle celle formée par les avenues qui mènent au château du Roi-Soleil. Ce plan, prisé des architectes et urbanistes, fut souvent utilisé. Toutefois, des esprits malins remarquent que la patte d'oie de Saclay, fermée par un triangle à l'est, fait bizarrement penser à un emblème maçonnique. Simple coïncidence géométrique ou dessin délibéré, le mystère reste entier... En tout cas, l'ensemble étonne par sa pureté et son équilibre. La conception du site, du plan d'ensemble aux constructions, affiche clairement ses références néo-classiques tout en créant un vrai schéma urbain. L'espace se distribue ainsi autour de quelques grands axes qui permettront par la suite de réaliser de larges routes plantées d'arbres, laissant un accès facile aux galeries techniques.

La composition générale est parfaitement orientée selon un système orthogonal nord/sud, est/ouest, qui détermine des îlots de dimensions variables où viendront prendre place les différentes unités administratives ou de recherche. Afin de tenir compte des vents dominants sud-ouest, tous les gros appareils, le cyclotron, le Van de Graaff et la pile EL2 sont isolés des bâtiments centraux. Les premiers grands axes portent tous un nom : avenue principale, route des grandes piles, route du cyclotron, route du magasin... L'entrée du site, installée à l'origine à l'est sur la D306, débouche sur un rond-point où s'élève le château d'eau, pour lequel Perret reçut un prix d'architecture. De là, on prend l'une des deux larges avenues qui convergent vers le pavillon de la direction pour se retrouver sur un espace en demi-lune flanqué, à droite par la cantine, une vaste salle largement ouverte sur les jardins, et à gauche par le bâtiment de la formation. À l'arrière du bâtiment de la direction s'ouvre une cour d'honneur bordée par deux bâtiments parallèles destinés à accueillir les laboratoires de physique, de chimie et de biologie. À l'extrémité, ces édifices sont reliés par un bâtiment perpendiculaire qui héberge la documentation, véritable lieu de convergence du savoir où se trouvent l'amphithéâtre, les services généraux et la bibliothèque : le cœur de l'édifice. C'est dans ce bâtiment, situé dans l'axe du bâtiment de l'administration, que se dérouleront les premiers cours de l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN).

Tous les bâtiments formant le cœur historique du plan de masse présentent un style monumental, caractérisé par la présence d'une ossature apparente en béton armé et un relief très accentué des façades. On y remarque des corniches, de fortes saillies, des chapiteaux et de nombreux claustras. « *Les éléments de structure sont toujours venus en béton armé brut de décoffrage ; leurs surfaces rugueuses suggèrent l'idée d'action et de pérennité*, note en 1959 le critique d'architecture Marcel Zahar. *Dans presque tous les édifices, la façade d'accueil est enrichie d'un portique. Les modulations du style sont traduites par les différences des portions nécessitées par chaque construction, ainsi que par les formes et relief des colonnes. Les teintes roses inégales des dalles de remplissage émettent de subtils chatoiements*[4]. »




**50** : La construction du bâtiment de l'accélérateur de particules Van de Graaff.

# Le château d'eau, une œuvre d'art à part entière

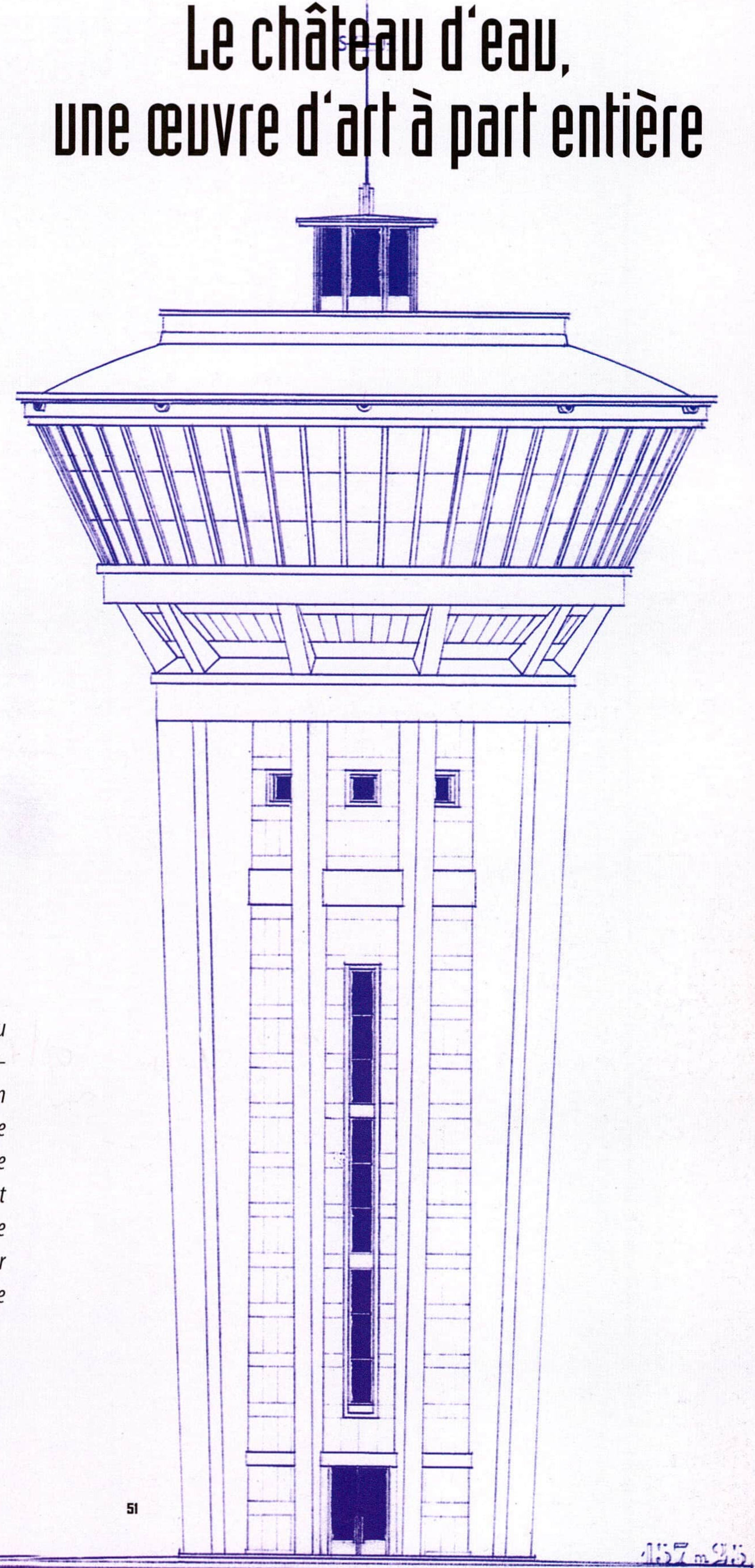
L'autre grande caractéristique propre à l'architecture de Perret réside dans l'utilisation de l'éclairage zénithal. En effet, les toitures des ateliers et des salles des machines sont pourvues de sheds destinés à faire passer la lumière à l'intérieur des édifices. On raconte même qu'Auguste Perret aurait fait modifier l'orientation des bâtiments conçue par Urbain Cassan pour les ordonner autour d'un axe nord-sud, est-ouest. Ces sheds orientés au nord permettent un éclairage naturel donnant une lumière douce et régulière toute la journée.

En dessinant le cœur historique, Auguste Perret a imposé un tracé urbanistique qui autorise et prévoit de futures extensions. Dans son livre sur l'architecte, Bernard Champigneulle souligne que tous les bâtiments qui seront édifiés par la suite s'inscriront automatiquement dans le quadrillage du plan d'urbanisme établi par Perret. La force du projet de l'urbaniste du Havre est d'avoir conçu un espace à la fois souple et global, incluant bâtiments et paysages.

[4] Marcel Zahar, *D'une doctrine d'architecture Auguste Perret*, Vincent Fréal, 1959

*« Le château d'eau est conçu comme une coupelle haute et monumentale. Le fût conique à base fine porte le réservoir qui est son épanouissement et sa raison. Les cannelures de la colonne creuse sont les poteaux qui soutiennent la lourde charge de 800 mètres cubes d'eau. Les remplissages entre les nervures sont en petites dalles roses en béton. Cette architecture élégante, légère, imposante, est vue de maints points de la petite cité. Elle est devenue le label de Saclay, que l'on retrouve jusque sur les assiettes du restaurant. Elle se trouve à la croisée des chemins qui viennent de la pile P2, du cyclotron et de la direction. Elle est l'ornement d'une large perspective classique qui déroule gazons et allées devant l'édifice. Pour cet ouvrage de conception entièrement nouvelle puisqu'il est le premier château à s'évaser vers le haut, Auguste Perret reçut à l'époque un prix d'architecture[4]. »*

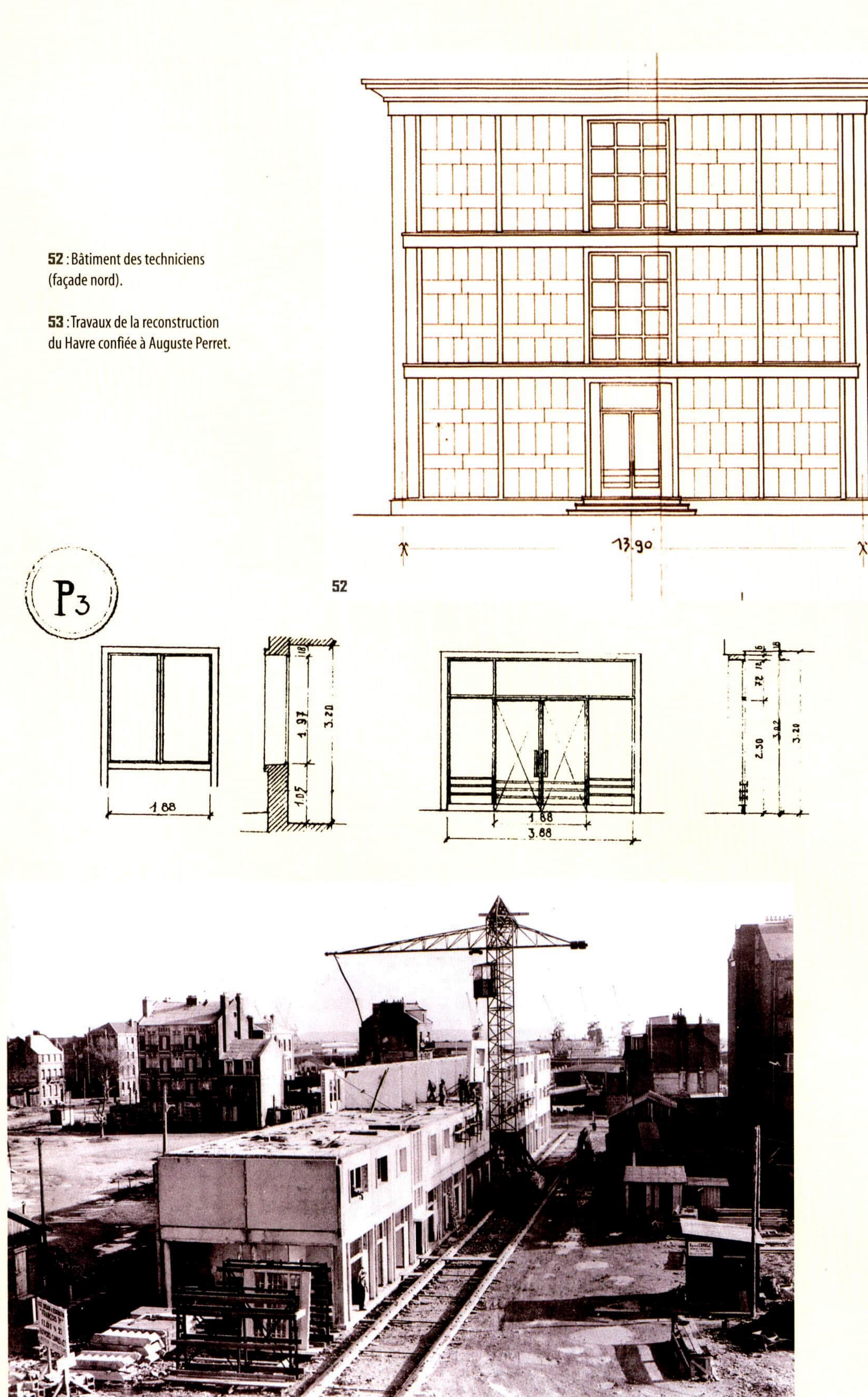
Marcel Zahar




**51** : Plan d'élévation du château d'eau, daté du 9 décembre 1948.

# Auguste Perret, le néo-classicisme du béton armé

Fils d'un tailleur de pierre immigré en Belgique après la Commune, Auguste Perret est né à Ixelles dans la banlieue de Bruxelles en 1874. Engagé très tôt avec son frère Gustave dans l'entreprise familiale de maçonnerie fondée par leur père, il suit des études à l'École nationale et spéciale des beaux-arts, section architecture. C'est en 1899 à l'occasion de la réalisation du casino de Saint-Malo qu'il découvre un nouveau matériau : le béton armé. Dès lors, Auguste Perret n'aura de cesse d'explorer toutes les possibilités à la fois techniques et esthétiques d'un matériau qu'il parviendra à élever au statut d'ornement. Après avoir signé, en 1903, l'immeuble au 25 bis rue Franklin Roosevelt à Paris, l'entreprise Perret enchaîne les réalisations. Parmi elles, Notre-Dame du Raincy (Seine-Saint-Denis), construite en 1922, frappe par son audace et sa radicalité. Dans son sillage, Perret réalisera plusieurs projets d'églises. Mais les autres œuvres notables réalisées avant guerre sont multiples : la cathédrale d'Oran (1908), le Théâtre des Champs-Élysées (1913), les docks de Casablanca (1916), la tour d'orientation de Grenoble (1925), le siège du service technique des constructions navales de la Marine nationale (1931), la salle de concert de l'École normale de musique rue Cardinet à Paris (1929), l'arsenal du port de Toulon (1932), le Mobilier national situé boulevard Victor à Paris (1934), le musée des Travaux Publics (1937)... En parallèle, Auguste Perret élabore une vraie conception urbaine en tentant d'imposer un nouvel ordre classique. Une pensée urbaine qu'il aura l'occasion de mettre en œuvre pour les grandes opérations qu'on lui confie après la Seconde Guerre mondiale : la reconstruction de la place de la gare à Amiens, le vaste chantier de reconstruction du Havre, l'aménagement du vieux port de Marseille et enfin la construction du Centre d'études nucléaires de Saclay, qui sera sa dernière grande œuvre avant sa disparition en 1954.




**52** : Bâtiment des techniciens (façade nord).

**53** : Travaux de la reconstruction du Havre confiée à Auguste Perret.



J435

COMMISSARIAT A L'
ENERGIE ATOMIQUE

CENTRE DE SACLAY

BATIMENT H

LES FAÇADES

| | |
|---|---|
| ECHELLE : 0m,01 P.M. | DATES DE MISE A JOUR : 15 10 1953 |
| PARIS LE 14 SEPTEMBRE 1953 | 30 10 1953 |
| AGENCE D'ARCHITECTURE DU COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, AVENUE HOCHE . PARIS (VIII) | |

**54** : Auguste Perret en 1954.

**55** : Bâtiment P2 (EL2).



CHANTIER DE SACLAY

LAISSEZ-PASSER N° 1081

ENTREPRISE : AGENCE D'ARCHITECTURE

Délivré à M. r PERRET Auguste

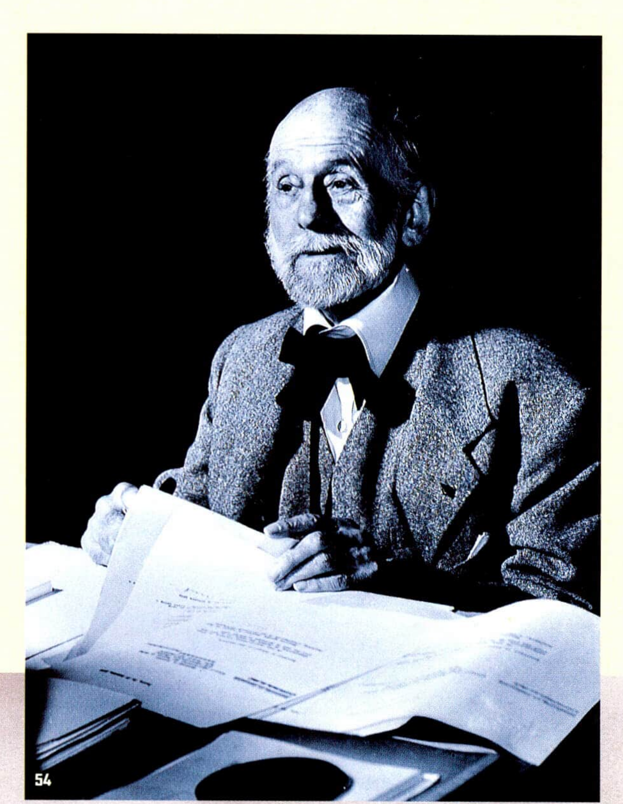
Né le à

Domicile 55 rue Raynouard Paris 16e

Profession Architecte

Délivré le 11/1/51

Signature du Porteur :

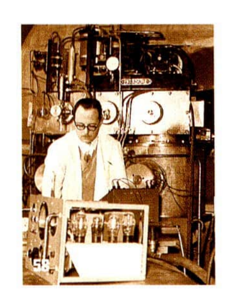


54

55

# L'OUVERTURE DE LA CITÉ DES ATOMES









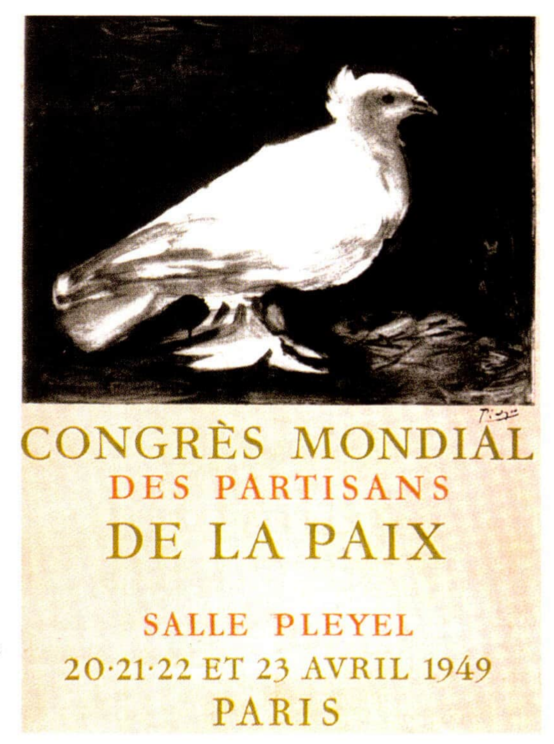
## Le départ de Frédéric Joliot-Curie



En 1951, alors que la première tranche des travaux s'achève et que la cité atomique tant rêvée par Frédéric Joliot-Curie prend forme au milieu du plateau agricole de Saclay, les rumeurs concernant le départ du savant se précisent. Le temps où les principaux protagonistes politiques et scientifiques mettaient de côté leurs désaccords pour créer le nouvel organisme est révolu. La période d'« union sacrée » qui avait permis la création du CEA s'est alors achevée.

Depuis la fameuse déclaration d'Alexandre Parodi le 25 juin 1946 à la commission de l'énergie atomique des Nations unies affirmant solennellement le caractère pacifique des travaux nucléaires et donc de la vocation du CEA, le contexte à la fois national et international a radicalement changé. Tout au long de l'année 1946, le climat international s'est dégradé, avec l'installation de la guerre froide, la coupure en deux de l'Europe par le « Rideau de fer » et l'apparition des premiers conflits coloniaux. Plus que jamais, la maîtrise des applications nucléaires apparaît comme un enjeu politique et stratégique majeur. Devenu secrétaire général de l'Union nationale des intellectuels (UNI) et président de l'association France-URSS, Frédéric Joliot-Curie prend clairement position dans le débat politique. Le 11 novembre 1946, il intervient au côté de Maurice Thorez contre la politique du secret instaurée par les États-Unis en matière de science atomique. En France, la coalition tripartite qui réunit socialistes, communistes et MRP bat de plus en plus de l'aile, alors que s'aggrave le conflit en Indochine. Le 4 mai 1947, le président du Conseil Paul Ramadier renvoie les ministres communistes de son gouvernement.

**56** : Irène Joliot-Curie et Albert Einstein, mars 1948.
**57** : Winston Churchill, Joseph Staline et Franklin Roosevelt à la conférence de Yalta, février 1945.
**58** : L'intérieur de l'accélérateur Van de Graaff.
**59** : Le général de Gaulle reçu à Saclay par Jean Debiesse.
**60** : Frédéric Joliot-Curie étudiant les déviations des électrons produites par un champ magnétique à l'Institut du radium de Paris.




Les positions pacifistes prises par Frédéric Joliot-Curie après guerre conduiront à son départ en 1950.

De grandes grèves éclatent dans le pays à l'automne 1947. L'appartenance politique du haut-commissaire place sur la sellette le CEA, dont l'existence est même remise en cause ; du moins les crédits de fonctionnement. *« Au début de l'année 1948, notre budget vint devant le conseil de la République, et le Parlement s'intéressa pour la première fois au CEA,* retrace Bertrand Goldschmidt. *Un sénateur proposa une réduction symbolique d'un million de francs du fait de la présence d'un communiste à sa tête ; l'amendement fut rejeté par quelques voix de majorité, la moitié des sénateurs s'étant abstenus. Le prestige de Joliot-Curie était considérable et personne ne doutait de ses sentiments nationaux* [6]. » L'amendement reste lettre morte, mais de sérieuses menaces planent sur l'avenir de Saclay.

Malgré leurs différends, le haut-commissaire et l'administrateur général font front commun pour accélérer les projets en cours. Les succès de l'année 1948, la découverte du premier filon d'uranium dans le Limousin en novembre et la divergence de Zoé en décembre leur donnent raison et leur permettent de justifier les crédits engagés depuis 1945. Pourtant, comme le souligne Michel Avril[7] dans son ouvrage sur Raoul Dautry, ces réussites techniques incontestables et le succès médiatique de Zoé sonnent un peu comme « une victoire à la Pyrrhus » pour Frédéric Joliot-Curie. La réussite de Zoé inquiète fortement l'opinion publique anglo-saxonne. La France possède désormais une partie des secrets atomiques et le maintien d'un communiste à la tête du CEA alimente les craintes de transmission de ceux-ci à l'URSS.

À la mi-1949 le sort du haut-commissaire, qui a présidé le 20 avril 1949 le premier congrès mondial de la paix au sein duquel il a dénoncé le pacte Atlantique, apparaît scellé. Cette incertitude se répercute sur la construction de Saclay, dont le chantier démarre à peine. Alors que le budget de 1950 est à l'étude à l'été 1949, celui de 1949 n'est pas encore voté à l'Assemblée nationale, tandis que la seconde tranche « conditionnelle » de la dotation de 1948 n'a pas été donnée au CEA. Le budget voté finalement le 25 juillet 1949 est donc bien en deçà de ce qui avait été demandé. Le CEA obtient en crédits de paiement et en autorisations d'engagements 1 860 et 3 436 millions de francs pour le futur centre de Saclay, alors qu'il avait respectivement prévu 3 342 et 4 302 millions de francs. Nul doute que l'aménagement du site prendra du retard.

Au sein de la direction du CEA, les relations deviennent détestables. Retranchés chacun dans leurs appartements de l'Hôtel de Clermont, que sépare un escalier majestueux délimitant le territoire scientifique du territoire administratif, Raoul Dautry et Frédéric Joliot-Curie limitent leurs contacts au strict nécessaire. Fatigué, semble-t-il, des querelles entre administratifs et scientifiques, le secrétaire général Léon Denivelle a démissionné en juillet 1948. Il a été remplacé par René Lescop. La même année, Pierre Auger rejoint l'Unesco. Cette détérioration intervient malgré le beau succès des équipes de Bertrand Goldschmidt qui réussissent, en novembre 1949, à isoler les premiers milligrammes de plutonium français dans l'atelier de l'usine d'uranium du Bouchet, témoignant ainsi de la grande vitalité du CEA.

Au fil des mois, les prises de position de Frédéric Joliot-Curie apparaissent de plus en plus incompatibles avec ses fonctions de haut-commissaire. Le 15 mars 1949, à la conférence de la paix de Stockholm, il déclare dès l'ouverture que les scientifiques et les travailleurs du CEA refuseront de travailler pour l'arme atomique. Sa signature est aussi la première à figurer sur l'appel de Stockholm qui réclame l'interdiction absolue de la bombe atomique. Le 30 mars, il annonce lors d'une conférence de presse que *« ceux qui s'opposeraient à l'interdiction et au contrôle de la bombe atomique se démasqueraient comme des partisans de la guerre »*. Comme le rapporte Bertrand Goldschmidt, *« Au mois de décembre 1949, les relations se tendirent entre Joliot-Curie et les ex-Canadiens, qui étaient devenus responsables en pratique de la direction des services techniques de plus de mille agents ; nous lui reprochions ses absences répétées et l'intérêt croissant qu'il portait à la politique. Il nous accusa à son tour de ne plus le tenir au courant et en particulier d'avoir effectué l'extraction du plutonium à son insu. Un débat orageux entre Joliot-Curie, Kowarski et moi-même mit les choses au*



**61** : Le chantier de la pile EL3, octobre 1955.

*point […] La trop courte période de quatre mois pendant laquelle* ce modus vivendi *fut fidèlement appliqué nous rapprocha beaucoup de Joliot-Curie dont le charme envoûtant, le dynamisme et la compréhension étaient tout à fait remarquables. Malgré sa grande tension nerveuse, il s'intéressait aux plus petits détails de la vie de cet organisme qui lui devait tant et dont il allait être bientôt séparé* [8]. »

Le 26 avril 1950, le président du Conseil Georges Bidault révoque Frédéric Joliot-Curie. Pour ses proches, c'est la consternation. Ceux qui l'ont connu ressentent encore aujourd'hui *« l'impression d'un immense gâchis »*. Joliot-Curie était un savant trop précieux pour être *« sacrifié sur l'autel de la politique »*, diront certains. Son départ est définitif, mais l'héritage qu'il laisse est immense et durable. Autour du CEA et du succès de Zoé, Frédéric Joliot-Curie a réussi à fédérer une équipe de chercheurs venus de tous les horizons et à lui insuffler un état d'esprit qui restera spécifique au Commissariat et dont le centre de Saclay reste en partie le dépositaire.

Le CEA perd l'un de ses pères fondateurs et Saclay, en pleine construction, son principal concepteur, qui s'était impliqué depuis 1946 dans sa réalisation. C'est le paradoxe du centre que de ne pas avoir été habité par ceux qui l'avaient imaginé, dessiné, désiré. Voilà pourquoi son démarrage sera si long à prendre forme.

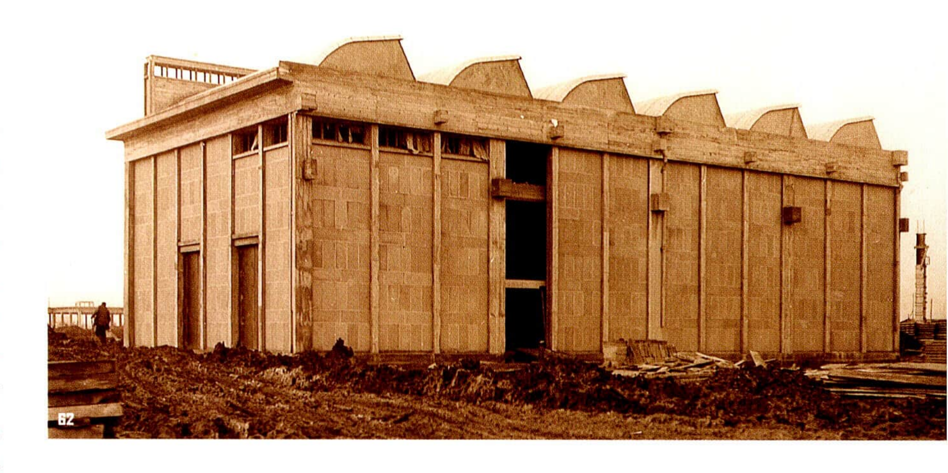
---

[6] Bertrand Goldschmidt, *Les Rivalités atomiques* (1939-1966), Fayard, 1967.

[7] Michel Avril, *Raoul Dautry, la passion de servir*, France Empire, 1993.

[8] Bertrand Goldschmidt, op. cit.

# La politique s'en mêle



62 : Le magasin, avec les sheds sur le toit destinés à éclairer l'intérieur de l'édifice.

63 : La salle des machines du réacteur EL2.
64 : Les fondations du bâtiment du cyclotron.
65 : La chaufferie en construction.

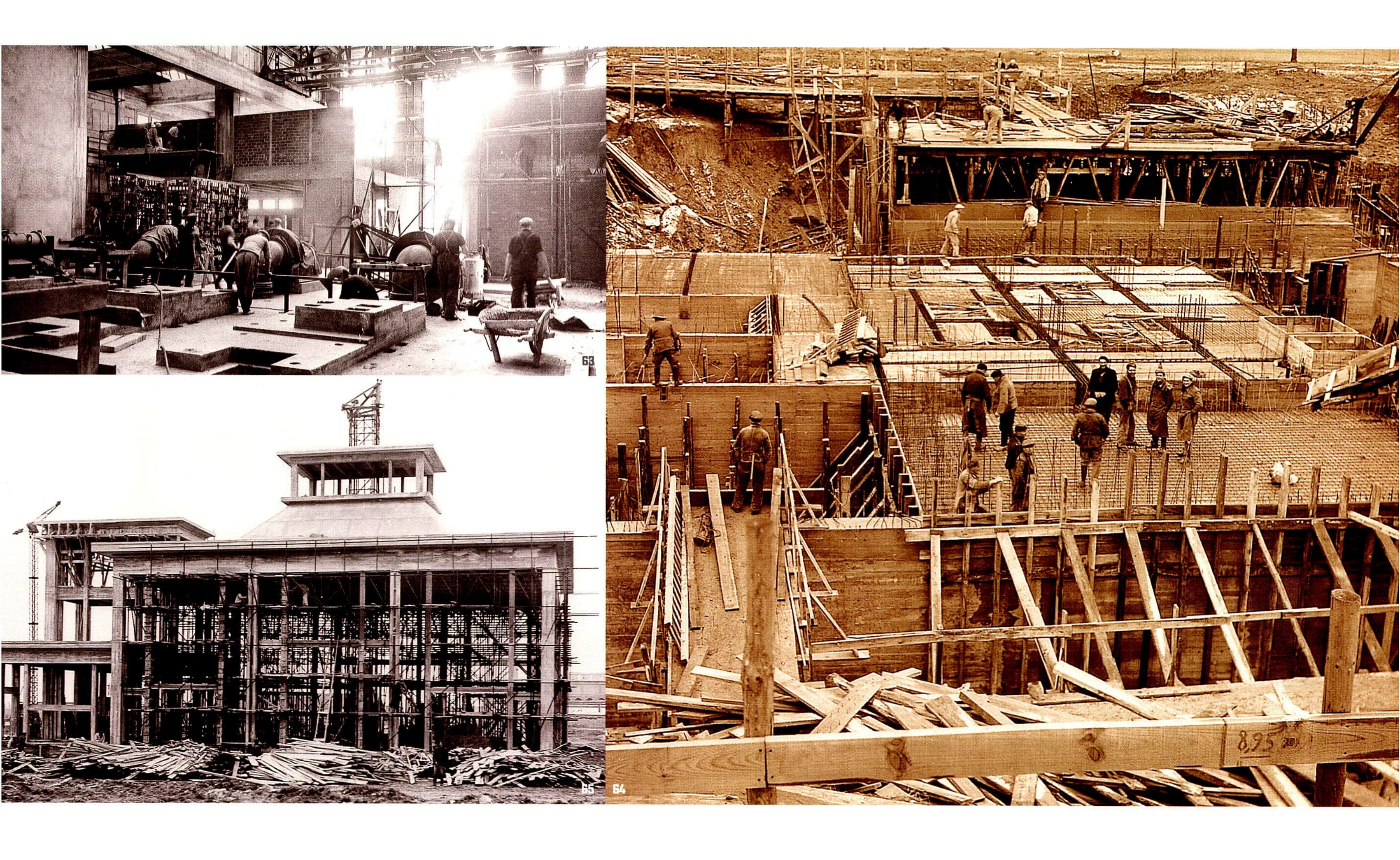
Raoul Dautry reste seul à la barre du CEA. Le moment est difficile, car le gouvernement ne cache pas son désir de reprendre l'organisme en main. Durant toute l'année 1950, l'avenir du Commissariat est âprement discuté. L'Académie des sciences préconise une gestion séparée de la recherche théorique et de la recherche appliquée, de manière à protéger les recherches militaires des possibles influences politiques. Consulté sur la question par le Conseil économique et social, Raoul Dautry s'oppose fermement à cette proposition : *« Nous ne pouvons pas nous payer deux outillages [...] la théorie et la pratique ont besoin des mêmes hommes et des mêmes outils. »* Comment peut-il envisager la disparition de ce qui constitue à ses yeux l'originalité et la force même du CEA, cette articulation entre les deux types de recherches ? Certains envisagent même le démantèlement du Commissariat et son rattachement au CNRS. La période est difficile pour l'administrateur général alors que la nomination d'un nouveau haut-commissaire tarde.

Après le refus de Pierre Auger, Francis Perrin est à son tour pressenti pour prendre la succession de Joliot-Curie, ce qui garantirait une certaine continuité dans l'esprit et les choix scientifiques qui ont présidé à la création du CEA. En janvier 1951, alors que le gouvernement s'apprête à nommer Francis Perrin au poste de haut-commissaire, un nouveau conflit éclate. Apprenant qu'Irène Joliot-Curie a été évincée du comité de l'énergie atomique au profit du polytechnicien Henri Lafond, ancien secrétaire général de l'Énergie sous le gouvernement de Vichy, Francis Perrin refuse la charge de haut-commissaire si la composition du nouveau conseil n'est pas modifiée. Un bras de fer s'engage entre les partisans et les adversaires de Francis Perrin, ces derniers soutenant la candidature d'Yves Rocard, un physicien renommé, qui avait joué un rôle de premier plan pendant la guerre dans le domaine de la détection sous-marine.

Le conflit prend une tournure politique alors que la plus grande confusion règne sur le chantier de Saclay. Des échauffourées éclatent entre les gardiens du site et des militants CGT qui veulent entrer dans l'enceinte... La tension retombe à la faveur du remplacement du cabinet Pleven par celui d'Henri Queuille. Le 21 avril 1951, celui-ci nomme Francis Perrin haut-commissaire à l'énergie atomique, Yves Rocard remplaçant Henri Lafond au sein du comité de l'énergie atomique. Quant à Raoul Dautry, il est interpellé par le gouvernement sur le comportement politique du Commissariat. Le courrier officiel qu'on lui adresse insiste sur *« la nécessité pour le personnel du Commissariat à l'énergie atomique dont,* rappelle-t-on, *les activités intéressent à divers égards la défense nationale de faire montre de loyalisme ».* L'administrateur est fortement encouragé à veiller au recrutement des agents et à *« éliminer ceux qui n'offrent pas, du point de vue national, les garanties que le gouvernement est en droit de demander ».* Cette missive affecte profondément Raoul Dautry. Le 21 août 1951, l'administrateur général décède subitement dans son village de Lourmarin dans le sud de la France. Une page de l'histoire du CEA est tournée.

Au mois d'août 1951, le second cabinet de René Pleven donne une nouvelle impulsion à la politique nucléaire française et recherche pour le CEA un responsable frotté aux grands projets industriels. Le poste est proposé à Louis Armand, qui décline l'offre mais recommande Pierre Guillaumat, alors directeur des Carburants. Ce dernier est officiellement nommé le 8 novembre 1951 et personnellement établi dans ses fonctions au comité de l'énergie atomique par le secrétaire d'État à la présidence du Conseil Félix Gaillard, sous l'autorité duquel a été placé le Commissariat à l'énergie atomique. Lors de cette séance du 8 novembre 1951, le comité approuve aussi les grandes lignes du premier plan quinquennal nucléaire français, qui est voté à l'Assemblée nationale le 24 juillet 1952. Revu par la suite à la hausse, il prévoit la construction à Marcoule de deux piles, les futures piles G1 et G2, et d'une unité d'extraction de plutonium correspondante.





Ce programme marque une nouvelle ère dans l'histoire du CEA et l'entrée du pays dans la course atomique. Occupant pratiquement les mêmes fonctions dans les cabinets suivants d'Edgar Faure, Antoine Pinay et René Mayer, Félix Gaillard bénéficie de la durée et fait passer le programme nucléaire au stade industriel, en associant les entreprises privées aux administrations concernées. Pierre Guillaumat est l'homme idoine pour mener à bien ce grand projet, aux finalités militaires et civiles étroitement mêlées.

Ce nouveau cours impose la transformation des structures du Commissariat à l'énergie atomique. Pierre Guillaumat s'y attelle dès son arrivée en fonction et nomme, au mois de septembre 1952, le polytechnicien Pierre Taranger à la tête d'une nouvelle direction industrielle chargée en particulier de la préparation de la première grande pile et de la coordination de sa réalisation entre les différents acteurs. La création du Département d'études des piles, confié au professeur Jacques Yvon, permet de constituer un solide pôle de recherche sur le secteur. Un comité de l'équipement industriel présidé par Louis Armand est également mis en place, ainsi qu'une commission consultative des marchés. Comme le rapport annuel le souligne, 1952 apparaît à tous égards comme une année charnière pour le CEA : « *Dans tous les domaines, cette année a permis l'adaptation du Commissariat aux tâches nouvelles qu'il devait accomplir et la préparation des hommes et des équipements qui permettront la réalisation du plan quinquennal.* » Le CEA change d'ambition et de dimension. Cette mutation coïncide avec l'arrivée des premières équipes sur le site de Saclay.

## Les débuts de Saclay

Malgré les aléas politiques de la fin des années 40, la recherche au CEA se structure peu à peu. En 1951, le Commissariat comprend quatre grands départements scientifiques : le Département de chimie, de matières premières et de l'usine du Bouchet confié à Bertrand Goldschmidt, le Département de chimie-physique à Jules Guéron, le Département des piles et accélérateurs sous la direction de Lew Kowarski. Enfin, Marcel Roubault prend en main la Direction des recherches et exploitations minières. À ces départements sont rattachés, plus ou moins formellement, plusieurs services. Le Département des piles coiffe à lui seul la documentation, le Service de la pile dirigé par André Ertaud, les constructions métalliques dirigées par Eugène Le Meur, la technologie avec Jacques Stohr, les accélérateurs avec Stanislas Winter et la physique mathématique avec Jacques Yvon. La physique nucléaire, dirigée par André Berthelot, et les radiations, dépendent quant à elles du haut-commissaire, et les constructions électriques, du commissaire Yves Rocard. Enfin, la chimie appliquée et le Service de traitement chimique dépendent du Département de chimie et le grand Service de chimie-physique dépend de Jules Guéron qui depuis le mois de juin 1951 a pris aussi la direction du centre de Saclay.

Cette organisation reste cependant largement informelle et seuls les services ont une certaine cohérence interne. La véritable organisation de la recherche ne sera effectivement réalisée qu'à la fin des années 50. Pour l'heure, le département est avant tout une concentration d'hommes et de compétences qui se mettent au service des grands projets du CEA, à savoir la réalisation du cyclotron, de l'accélérateur de particules Van de Graaff ou de la pile EL2. La réalisation de ces grands appareils fournit à chacun des services l'opportunité d'enrichir ses connaissances et de les formaliser.

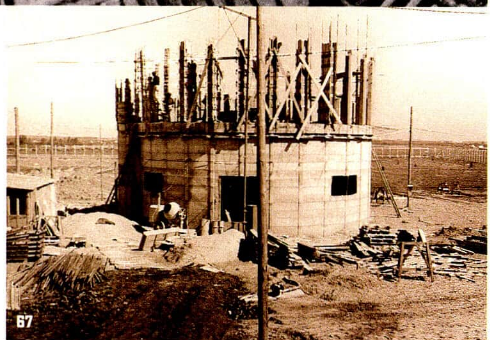
Dans le même temps, les équipes prennent possession des installations du nouveau centre au fur et à mesure de l'avancement des travaux sur le site et du montage des équipements. Symboliquement, une note du 11 juin 1951 décide la dissolution du groupement d'équipement de Saclay; Jules Guéron, le directeur du centre prendra son relais. Celui-ci *« représentera dès le 15 juin 1951 auprès du secrétaire général, du Service des travaux et de l'agence d'architecture tous les services du CEA qui sont ou seront installés à Saclay. En particulier, il présentera à l'approbation du haut-commissaire et de l'administrateur général les plans des bâtiments à mettre en chantier (gros œuvre et équipement) en produisant l'échelonnement des phases d'exécution s'il y a lieu. Il sera présent ou représenté aux réunions de chantier et sera régulièrement tenu au courant par le service des travaux de leur avancement »*.

Pour tous, l'installation sur le plateau de Saclay se révèle plus longue et plus difficile que prévu. Ce n'est pas sans regret que certains abandonnent les casemates bricolées de l'inconfortable fort de Châtillon pour se glisser dans les imposants bâtiments d'Auguste Perret. Les impressions des nouveaux arrivants sont mitigées. Saclay apparaît isolé, perdu en pleine campagne. *« Il n'y avait absolument rien à proximité, si ce n'est le Christ de Saclay avec son bistrot Chez Nini, rebaptisé plus tard Bikini. Et, à l'horizon, le centre d'essais des propulseurs... »* se rappellent quelques pionniers de cette époque.

Au printemps 1951, une cinquantaine de personnes travaillent sur les grandes installations. Les premiers chercheurs qui participent au montage du Van de Graaff se souviennent : *« Il y avait Pierre Debraine qui, avec son équipe, montait son cyclotron dans des salles souterraines. Plus loin encore, Foglia qui, sous la conduite de Le Meur, construisait P2. En tout, cinquante personnes. Nous étions transportés de Châtillon en camion Citroën P45 puis en camionnette tôlée ; la route surveillée par Popaul, le garde champêtre, passait par Bièvre. Monsieur de Mussy veillait à la protection du site, flanqué d'une meute de chiens redoutables. Le terrain du centre était nu : seul un maigre bouquet d'arbres, situé à l'endroit de l'actuelle pièce d'eau, le décorait. Le déjeuner nous était apporté tout fumant par un camion de Châtillon. Les repas se prenaient en commun dans une baraque de chantier [...] Plus tard, une cantine a été installée, successivement dans la chaufferie, puis dans le bâtiment des constructions électriques, avant la création du restaurant 1. »*

Au cours de l'été 1951, dans la perspective de la période transitoire où des services seront dispersés sur les deux sites, des responsables sont officiellement chargés d'assurer la liaison entre l'établissement de Châtillon et Saclay : Robert Levy-Mandel pour les accélérateurs, Leduc pour l'électronique, Sébastien Foglia pour la pile et Bernard pour la technologie. Au 31 décembre 1951, les effectifs de Saclay restent faibles : 70 personnes y sont installées, elles sont 778 à Châtillon et 222 au siège.

Avec l'achèvement définitif des onze bâtiments de la première tranche, puis la mise en route des deux principaux équipements conditionnant les grandes orientations de la recherche, l'accélérateur Van de Graaff et la pile EL2, le centre démarre réellement courant 1952. Cette année-là voit également le transfert de plusieurs grands services venus de Châtillon : les accélérateurs, les constructions électriques, les constructions mécaniques, la documentation, la physique mathématique, la physique nucléaire et la technologie. Les autres services attendront, car la construction de leur laboratoire démarre à peine. Fin 1952, 538 personnes,



soit 29 % des effectifs prévus, sont déjà installées sur le centre et découvrent tous les mérites d'une infrastructure moderne et conçue pour la recherche. La vie et le travail s'organisent. Vu l'absence de tout transport public sur le plateau, le centre aménage le transport de son personnel. Matin et soir, une flotte de bus relie Saclay à la capitale… une tradition qui ne s'est jamais perdue.

**66-67** : Réfrigérant atmosphérique d'EL2 en construction (démoli en 1985).

# Le Van de Graaff, première installation saclaysienne

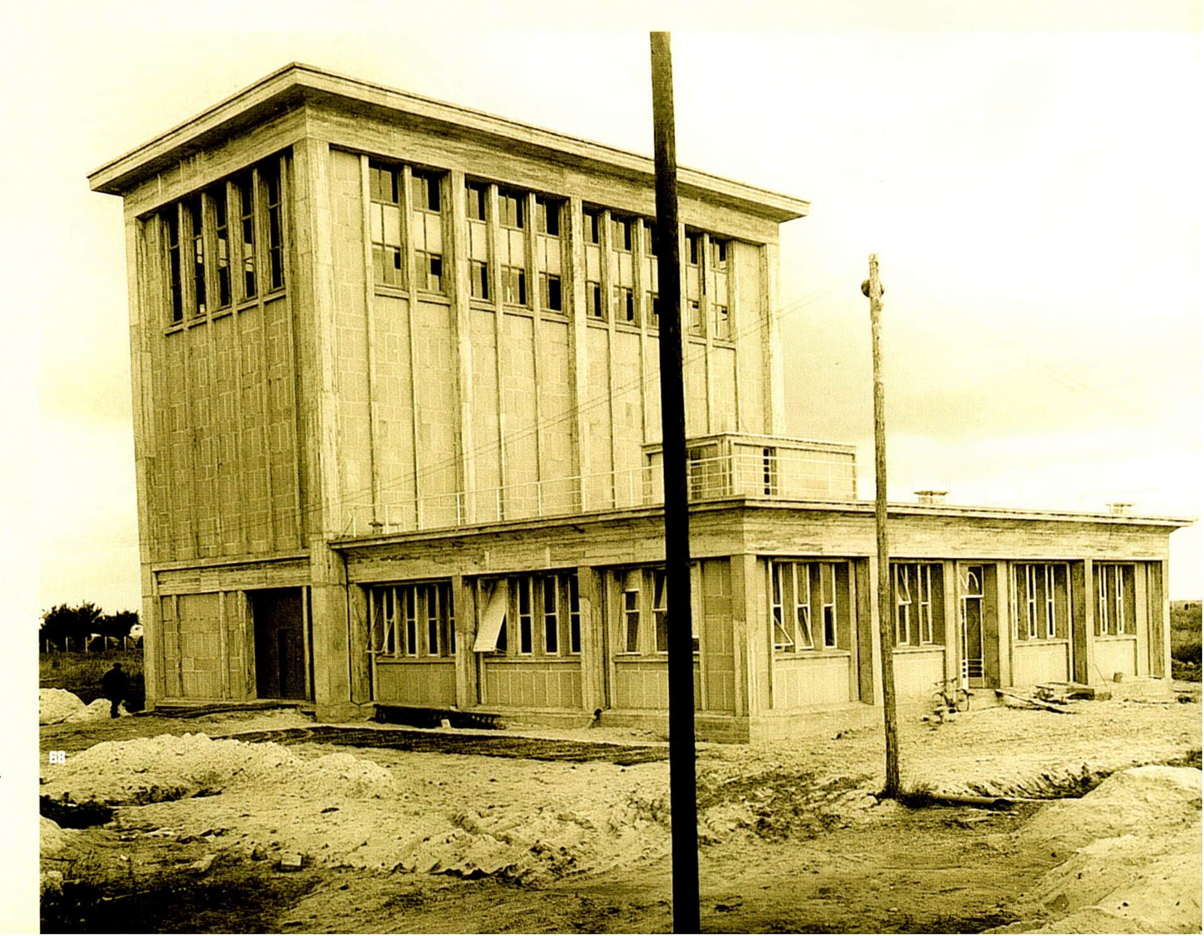
Mis en marche en juin 1952, l'accélérateur d'électrons Van de Graaff est la première installation de Saclay, inaugurée par le ministre de la Recherche, Maurice Bourgès-Maunoury. Les origines du projet remontent à mars 1946 lorsque dans le premier programme du CEA, les membres du comité scientifique prévoient la mise en place d'un cyclotron et d'un accélérateur électrostatique, deux installations pour *« produire des particules de très grande énergie »*, indispensables à l'étude de la physique nucléaire et à la physique des particules. Le premier équipement installé est un accélérateur Van de Graaff, du nom du physicien américain concepteur de ce type de machine. D'une énergie de 5 MeV, il est doté d'un champ électrique continu pour accélérer en ligne droite des électrons groupés en faisceaux. Lorsque ce faisceau atteint l'énergie et la vitesse souhaitées, il est projeté sur une cible.

Les premières études en vue de la réalisation du Van de Graaff commencent à Châtillon en 1948, au sein du Service des accélérateurs dirigé par Stanislas Winter, appuyé par le Service de technologie de Jacques Stohr. *« Pour la réalisation de ce Van de Graaff, se souviennent les premiers ingénieurs, nous disposions d'un dossier complet de plans gracieusement offert par HVEC (Hight Voltage Engineering Compagny), la compagnie adossée au MIT (Massachusetts Institute of Technology) construisant industriellement ce type d'accélérateur. Ce dossier était celui de leur machine développant la plus haute énergie, à savoir 5 MeV. Nous passions de longs moments à examiner ces plans, nous interrogeant sur la signification d'un trait, nous demandant s'il s'agissait d'un coup de crayon ou d'un pli du calque. L'année 1948 s'est passée à traduire en millimètres des plans cotés en pouces. Pour perdre un minimum de temps, la cloche, c'est-à-dire l'enveloppe du générateur, la pièce la plus longue à fabriquer, fut commandée aux ateliers de Saint-Nazaire* [9]*. »*

Mais les études révèlent un défaut de conception : le prétendu 5 MeV ne peut atteindre au mieux que 3 MeV. Sur la base des travaux de François Prévot, le projet est en grande partie modifié notamment par le rallongement de la colonne. Le chantier à Saclay n'est pas de tout repos. Il faut d'abord obtenir une dérogation à la limitation de la hauteur du bâtiment, car le hall qui doit recevoir le Van de Graaff fait vingt mètres de haut, correspondant à la hauteur du générateur, plus celle de la cloche et du pont roulant. Se protéger ensuite contre l'humidité en assurant l'isolation des bâtiments. Les dalles de béton sont revêtues d'un vernis synthétique et on revoit la conception des sous-sols de manière à éviter tout risque d'inondation.

Les premières expériences sur l'accélérateur ne commencent réellement qu'en 1953, au désespoir de certains physiciens. À force d'attendre la machine depuis 1950, ils la surnomment « Godot », en référence à la célèbre pièce de Samuel Beckett. Alors que débutent en 1955 les premières études, de nombreux physiciens se sont déjà orientés vers la physique corpusculaire, notamment le service d'André Berthelot à qui le Van de Graaff était à l'origine destiné. *« Le MeV,* rappellent les témoins de l'époque, *apparaissait dérisoire au regard du GeV qui se profilait à l'horizon. »* L'accélérateur Van de Graaff sera confié plus tard au Service de physique nucléaire de basse énergie dirigé par Eugène Cotton. En 1964, cet équipement sera transféré à Cadarache, pour être utilisé par le Département d'étude des combustibles. Son exploitation est définitivement arrêtée en 1977.

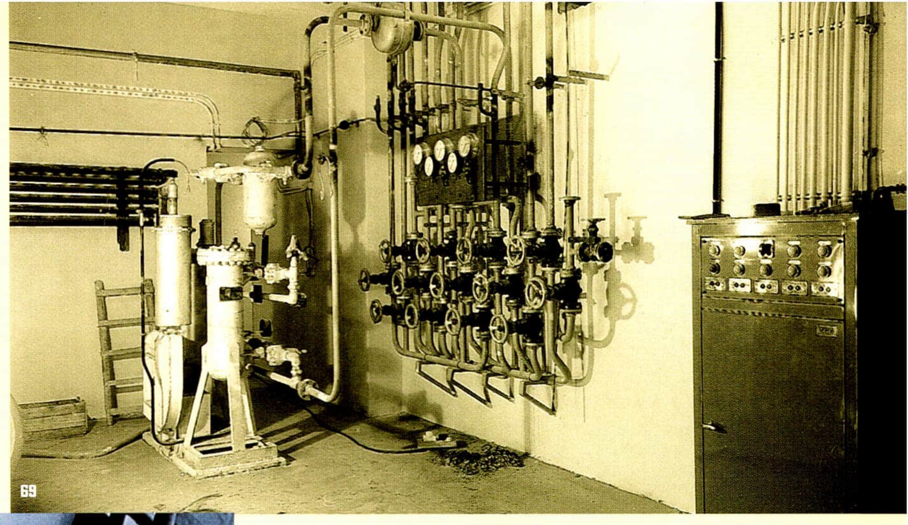
[9] R. Levy-Mandel, J. Parain, « Le Van de Graaff 5 MeV de Saclay », *Uranie*, décembre 2000.



**68** : Bâtiment du Van de Graaff (face sud).

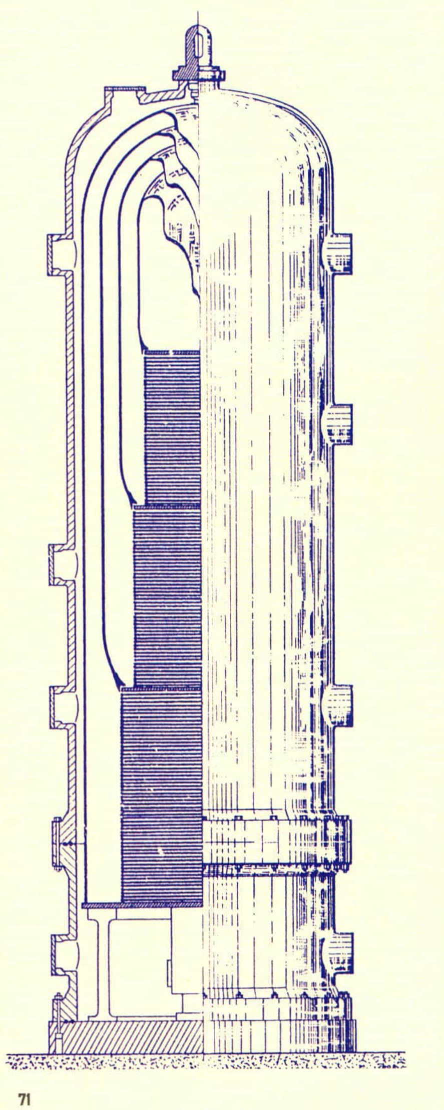


**69** : Le sous-sol du bâtiment du Van de Graaff.
**70** : Vue d'ensemble de l'accélérateur d'électrons de 5 MeV Van de Graaff.
**71** : Schéma de l'accélérateur.



69

70





71

# EL2, premier réacteur expérimental de Saclay

En mars 1946, le premier programme du CEA prévoit que la première pile atomique française sera immédiatement suivie par la réalisation d'une deuxième d'une puissance plus importante, puis d'un pilote industriel... Aussi, les équipes de Châtillon qui travaillent sur Zoé ont-elles déjà en perspective la réalisation de cette deuxième pile. En 1949, l'expérience acquise grâce à la divergence de la première pile ainsi que les progrès réalisés au Bouchet dans la fabrication de l'uranium métallique permettaient d'envisager sérieusement la construction d'une deuxième qui ne serait pas à « énergie zéro ». Eugène le Meur et Jacques Yvon élaborent quatre avant-projets pour la pile qui peut être refroidie soit à l'air, soit au gaz comprimé, par circulation de l'eau lourde ou par courant forcé d'eau ordinaire. À l'été 1949, le choix se porte vers la solution gaz comprimé, une première mondiale qui ouvre des voies d'applications industrielles immédiates.

*« L'ancienne équipe de Zoé se recréa autour du projet choisi et de ses auteurs, et la construction commença,* explique Lew Kowarski[10]. *N'ayant aucune expérience ni de la plupart des matériaux, ni des conditions spéciales de marche inhérentes à notre projet, nous savions bien que ces données de base comportaient une bonne partie de conjonctures, d'espoirs et de craintes. Les connaissances solides ne pouvaient venir que de la construction et du comportement en marche du réacteur [...] À partir de 1951, et jusqu'en 1954 (date à laquelle le réacteur atteignit et dépassa largement le maximum de la puissance prévue à l'origine), l'imprévu fut loin de nous faire défaut. Il fallut passer par bien des tâtonnements pour arriver au procédé de fabrication des barres gainées d'uranium capables de supporter (et de dépasser) les températures envisagées à l'origine du projet. Les structures tubulaires durent être profondément modifiées de façon à supprimer les vibrations dangereuses qui s'étaient manifestées dans le courant gazeux. »*

Le 21 octobre 1952, la seconde pile P2, rebaptisée plus tard EL2 (pour Eau Lourde 2) diverge. Une fois encore, l'émotion est grande parmi le personnel. Le site de Saclay dispose enfin de sa première pile atomique expérimentale. Sa mise en marche se fait à faible puissance. La première phase, qui se déroule de novembre à décembre, permet de vérifier la physique de pile à faible puissance. Autour de la pile, ingénieurs, chercheurs et techniciens s'activent pour étudier la répartition des densités neutroniques, la cinétique de la pile, la mesure en régime sous-critique des différents facteurs affectant la réactivité... Quelques semaines après, les organes de refroidissement de la pile sont mis en fonctionnement, portant graduellement la puissance de la pile à 1 000 kW, niveau atteint en mars 1953. Mais les premiers essais mettent en évidence des défaillances. Après démontage et modifications, la pile est remise en fonctionnement en septembre 1953. Par la suite, des travaux de perfectionnement permettront de lui donner une puissance de 2 000 kW à la fin de l'année 1954.

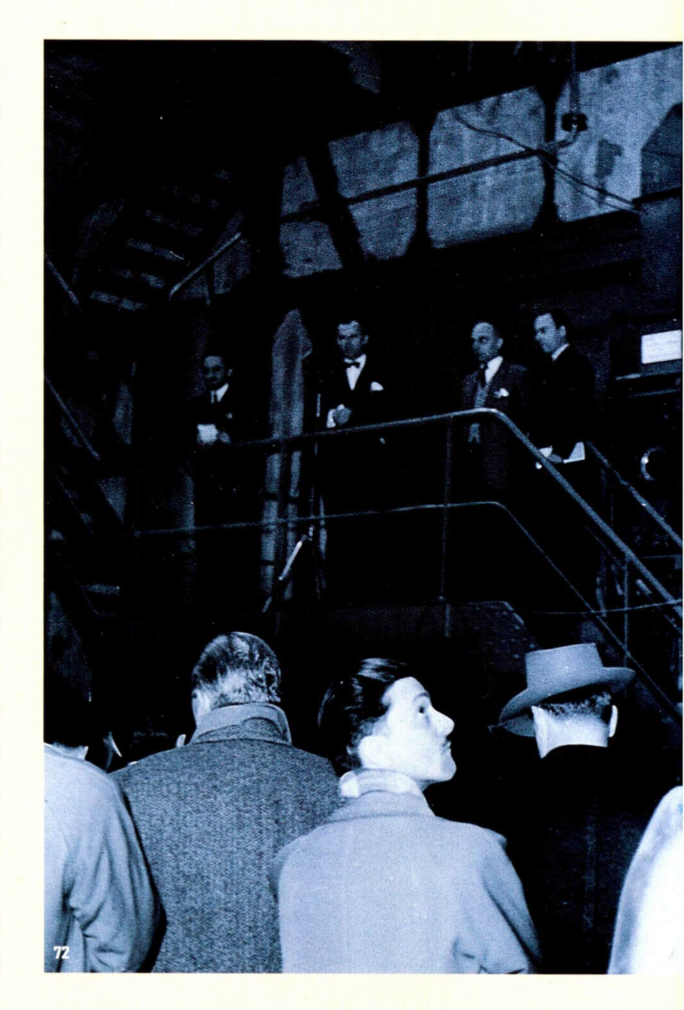
Première pile du site de Saclay, EL2 est aussi le premier réacteur refroidi par gaz inerte ($N_2$ puis $CO_2$) utilisant de l'uranium métallique gainé. Avec elle, le CEA affine ses études sur la physique des piles et le comportement des matériaux. Bernard Lerouge[11] remarque que c'est sur la pile EL2 que le CEA expérimente aussi *« le service continu, le pilotage automatique et les premiers déboires : fuite de gaz, rupture de gaine, fusion de combustible »*. La pile est aussi destinée à *« accumuler du plutonium en quantité nécessaire pour certains travaux d'études dans le plan quinquennal »*, explique un rapport sur Saclay daté de 1955. Il permet également d'obtenir des radio-éléments à période longue, notamment des sources d'iridium pour gammagraphie et d'autres sources nécessitant une activité spécifique élevée, que le flux trop faible de la pile de Châtillon ne permettait pas de réaliser. EL2 est rapidement supplantée par la mise en route d'EL3 en 1958, mais la pile continue à fonctionner jusqu'en 1965. Elle permet en effet la production de radio-isotopes pendant les arrêts d'EL3.

---

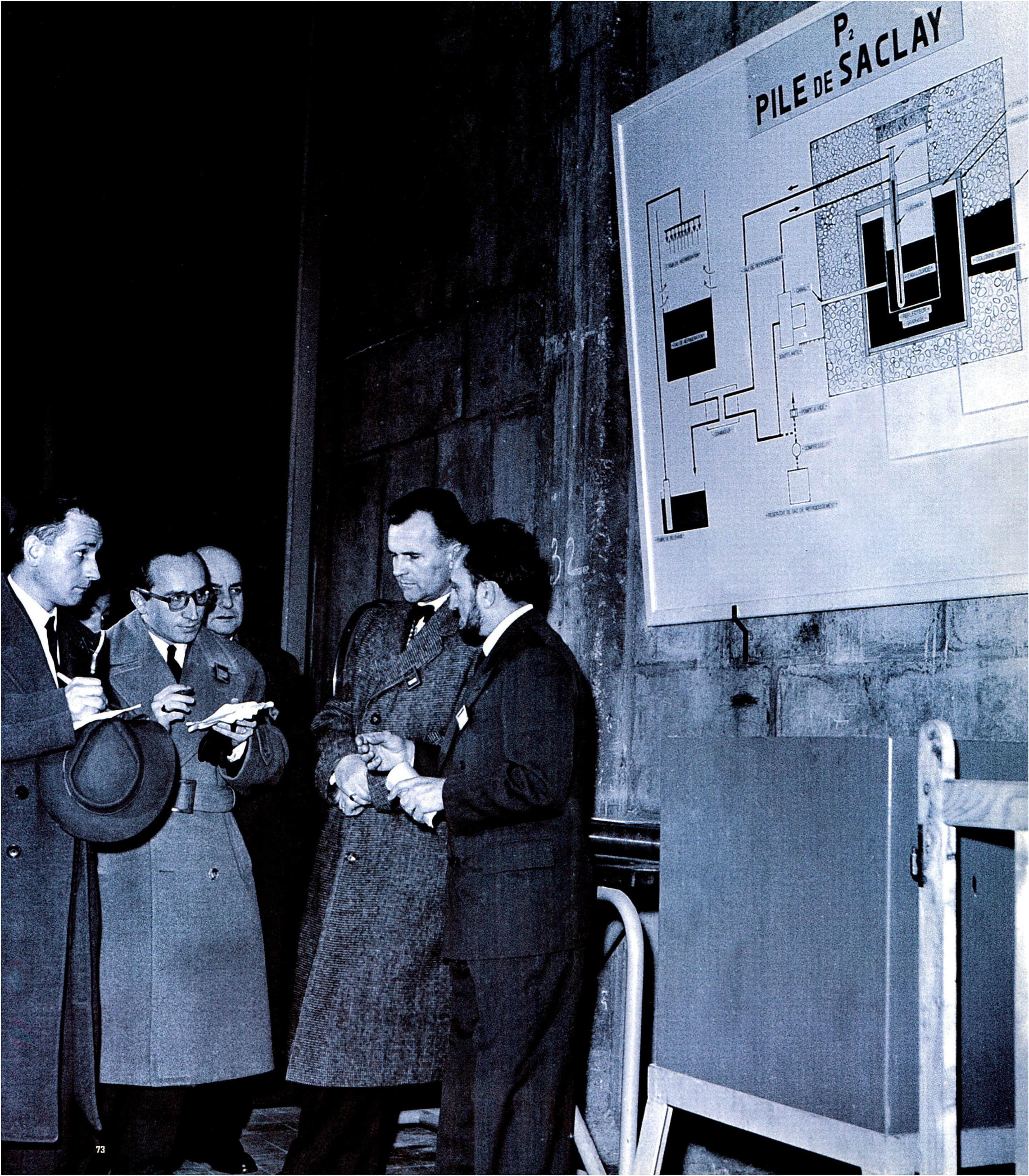
[10] *Échos du CEA*, numéro spécial 1945-1965, octobre 1965.

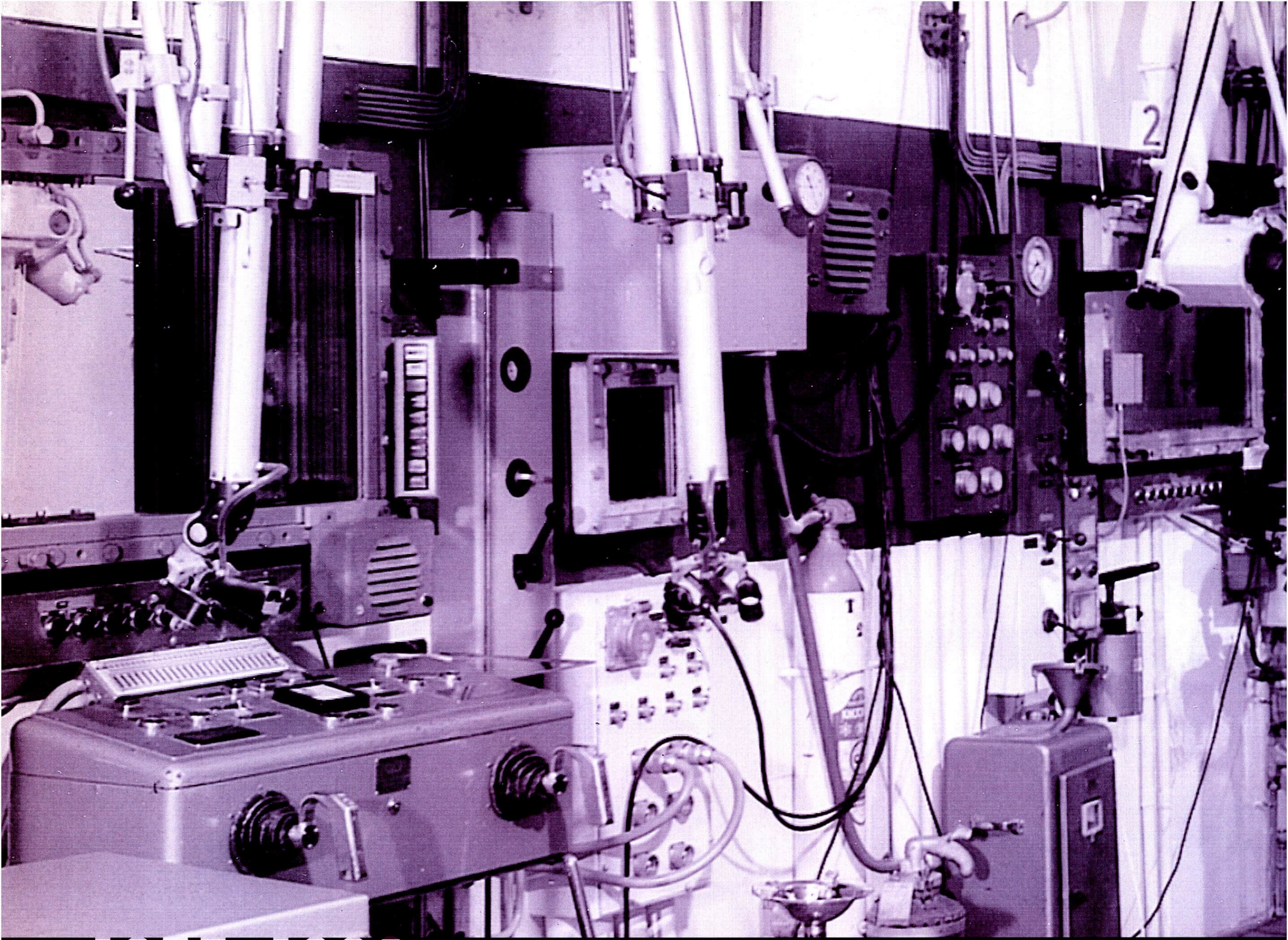
[11] « Des réacteurs pour les essais technologiques », *Actes du colloque du 50e anniversaire du CEA.*

**72** : Francis Perrin, Pierre July (ministre délégué à la présidence du Conseil), et Pierre Guillaumat sur la passerelle de la pile de Saclay, 1954.
**73** : Pierre July et Francis Perrin interviewés devant le schéma de la pile en mars 1954.


72

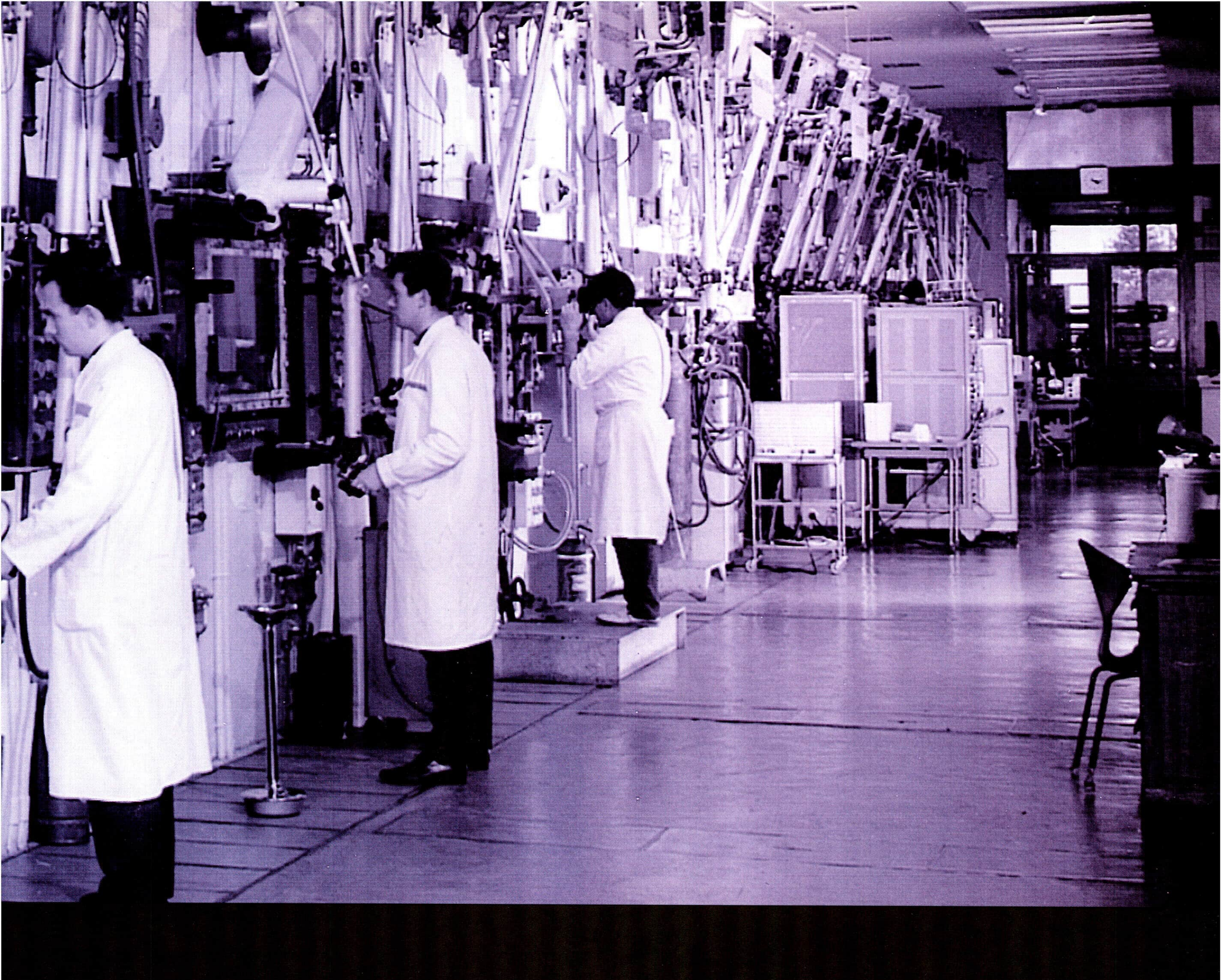



P2
PILE DE SACLAY



1953-1969

# L'ÎLOT

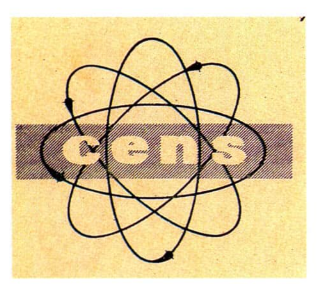


# DES SCIENCES

Une fois sortie de terre, la cité atomique de Saclay vit une formidable période d'expansion, portée par l'élan du premier plan nucléaire français. Les équipements majeurs, EL3, Osiris, le cyclotron, le synchrotron Saturne, l'accélérateur linéaire, datent de cette époque. Au début des années 50, physiciens, neutroniciens, métallurgistes, chimistes se mettent au service de la filière à l'uranium naturel graphite-gaz (UNGG) choisie comme filière nationale, tout en poursuivant un minutieux travail d'exploration des autres filières. Une bonne partie de ces recherches s'effectuent au sein de la toute-puissante Direction de la physique et des piles atomiques, où l'on trouve pêle-mêle les activités de recherche fondamentale et les activités de recherche appliquée…

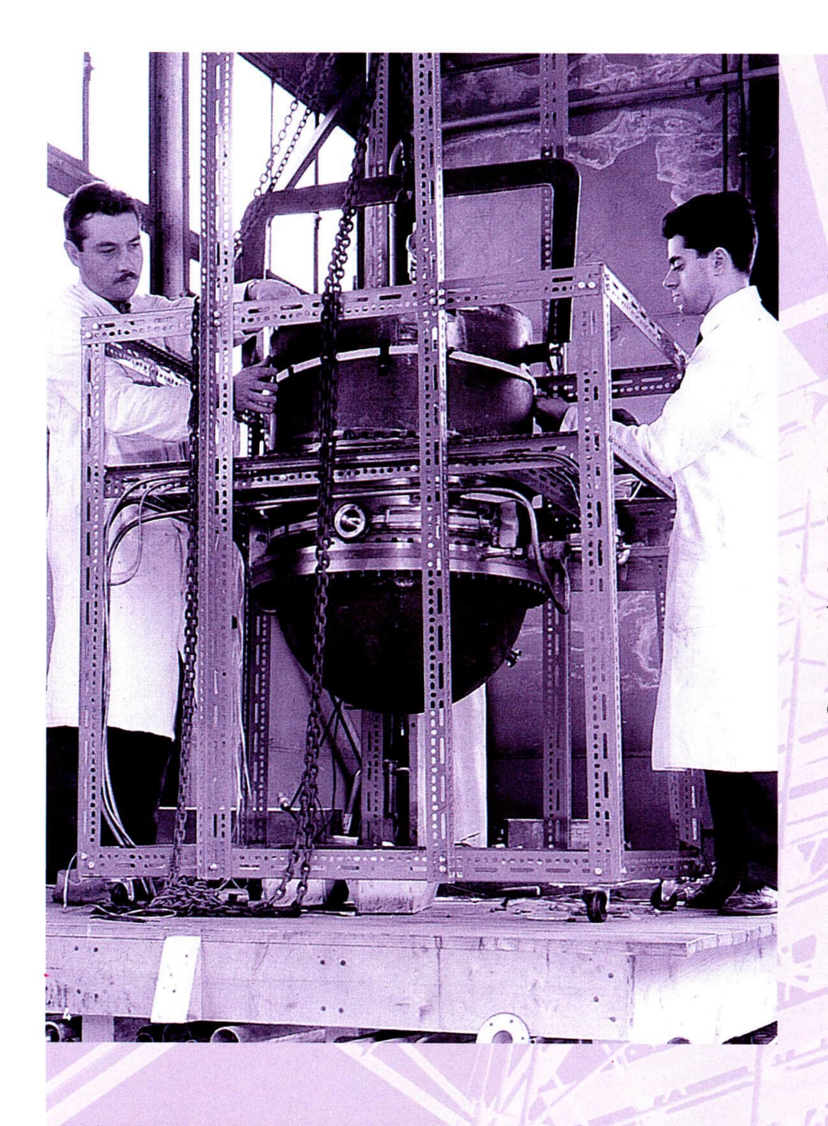


# LE PILIER DE LA RECHERCHE NATIONALE







Le début des années 60 bénéficie du développement soutenu de la recherche fondamentale, avec l'essor de la recherche en physique des particules marqué en particulier par le démarrage de la grande épopée des chambres à bulles. Cette évolution est confirmée par la création d'une Direction de physique autonome et par l'ouverture du nouveau site de l'Orme des Merisiers en 1968. En revanche, les activités électronucléaires connaissent une évolution moins favorable, avec les difficultés de la filière graphite-gaz aboutissant à son abandon définitif en 1969. Le centre peinera à surmonter cette épreuve, au moment où d'autres sites d'études nucléaires développent des activités dont une partie a été souvent initiée à Saclay.

**Page précédente** : Le Laboratoire d'examen des combustibles irradiés (LECI).
**1** : Vue du cœur du centre avec en arrière-plan la pile EL3 et son bâtiment combustible et, au loin, le Centre d'essais des propulseurs.
**2-3** : Visite du général de Gaulle à Saclay.
**4** : Chambre de Wilson, ancêtre des chambres à bulles, en cours d'installation sur l'accélérateur linéaire.

## Quelles orientations pour le CEA ?

Malgré le démarrage réussi du plan quinquennal 1952-1957, des interrogations subsistent sur l'orientation et la vocation du CEA et son implication dans la recherche militaire. Car, même si l'objectif militaire n'est pas clairement avoué, les piles G1 et G2 qui seront construites à Marcoule ont pour but essentiel de fournir du plutonium indispensable à la fabrication d'un engin nucléaire. Au début des années 50, une partie du personnel, encore sous le choc de l'éviction de Frédéric Joliot-Curie, manifeste son inquiétude. Six cent soixante cinq personnes, soit le tiers des agents du Commissariat, signent une pétition contre une éventuelle fabrication de la bombe atomique. L'administrateur général Pierre Guillaumat y répond en rappelant à tous l'obligation d'obéir aux ordres du gouvernement.

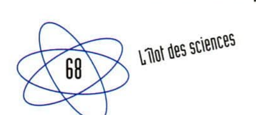
Si l'ambiguïté demeure, l'heure est à l'acquisition de compétences, qu'elles soient civiles ou militaires. Car le contexte international évolue rapidement. En 1953, le prototype à terre destiné à équiper le *Nautilus*, le premier sous-marin nucléaire américain, diverge à Arco aux États-Unis. La course au nucléaire civil s'engage : le 8 décembre 1953, le président des États-Unis Eisenhower propose le programme « Atoms for Peace » devant l'assemblée générale de l'ONU, permettant l'accès aux connaissances nucléaires sous réserve d'un usage pacifique. Ce programme permet aux États-Unis de conforter leur leadership dans ce domaine en veillant de près aux utilisations militaires. Dans la foulée du succès du *Nautilus*, qui passe sous la banquise du pôle Nord, l'amiral Rickover prépare la transposition de la technologie du réacteur à eau pressurisée qui l'équipe *(Pressurized Water Reactor* ou *PWR)* à une centrale électrique. Ce sera la centrale de Shippingport, qui diverge en 1957. De leur côté, les Anglais engagent la construction d'une première centrale civile à Calder Hall et les Soviétiques s'apprêtent à mettre en service une première centrale civile de 5 MW à neutrons rapides à Obninsk.

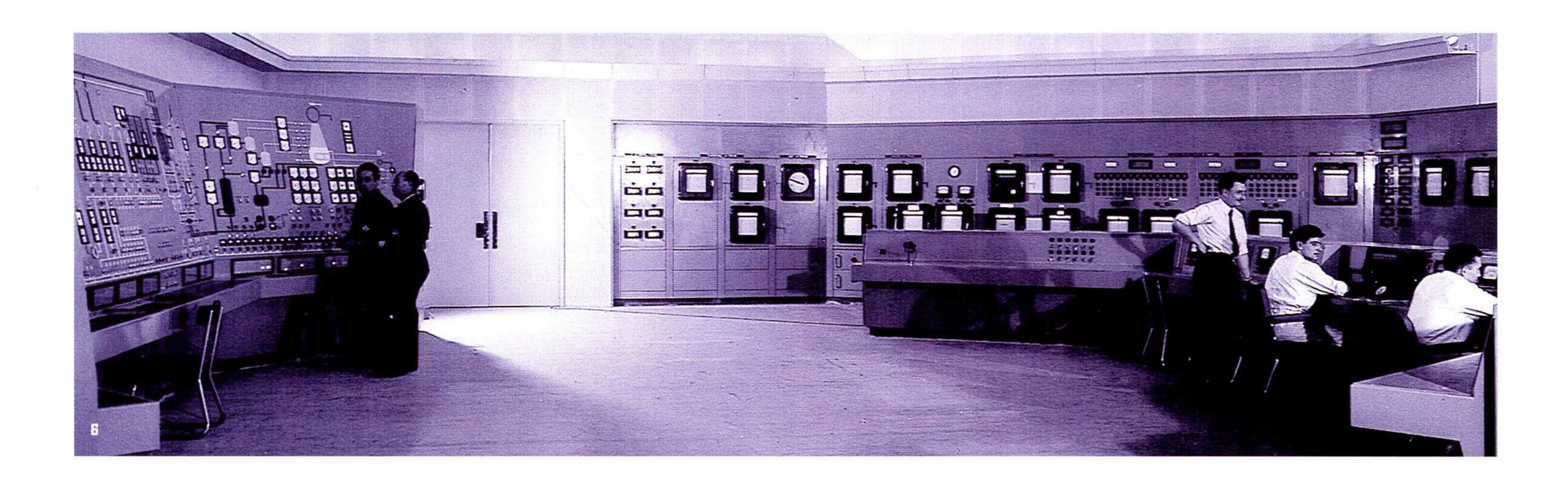
En France, ces événements pèsent sur la conduite de la stratégie nationale. Dès 1953, une révision du plan quinquennal s'impose, ainsi qu'une première clarification entre les activités civiles et militaires du CEA. En 1954, Pierre Guillaumat crée le Bureau d'études générales, au moment où le gouvernement de Pierre Mendès France envisage les premiers projets de prototype de bombe et de sous-marin. Après le départ de « PMF », les études se poursuivent de manière plus ou moins officieuse sous la direction du général Buchalet et d'Yves Rocard. Si Pierre Guillaumat confirme l'orientation duale des études du CEA, il veille aussi à ce que l'organisme ne tombe pas sous l'emprise des militaires.

En 1955, un plan général pour les années 1955-1957 est adopté. Il vise à développer l'électronucléaire, tout en prévoyant que le plutonium produit à Marcoule pourra être rapidement reconverti vers des utilisations de défense nationale. Les crédits octroyés atteignent 85,5 milliards de francs. Le CEA signe en 1955 un protocole secret complétant le financement du site de Marcoule et notamment de l'usine d'extraction du plutonium. L'expansion que connaît le Commissariat à l'énergie atomique est confirmée par le deuxième plan quinquennal (1957-1961), préparé par Pierre Guillaumat avec un budget global de 500 milliards de francs. Trois cent trente quatre milliards de francs sont consacrés au programme de recherche nucléaire, 80 milliards sont affectés à la défense nationale, 32 milliards reviennent à EDF, le restant étant attribué à l'industrie privée. Le CEA peut poursuivre sa croissance : le centre de Marcoule prépare la divergence des réacteurs G2 et G3. Le laboratoire de Châtillon, appelé désormais « centre de Fontenay-aux-Roses », amorce sa reconstruction en 1957, tandis que débutent les chantiers des sites de Grenoble et de Cadarache.

**5** : Le siège du CEA, rue de Varenne en 1953. De gauche à droite assis : Francis Perrin, Pierre Guillaumat, Jean Debiesse. Debout : Jules Guéron, Charles Eichner, Jacques Yvon, Jacques Mabile, Pierre Taranger, Bertrand Goldschmidt, Lew Kowarski.

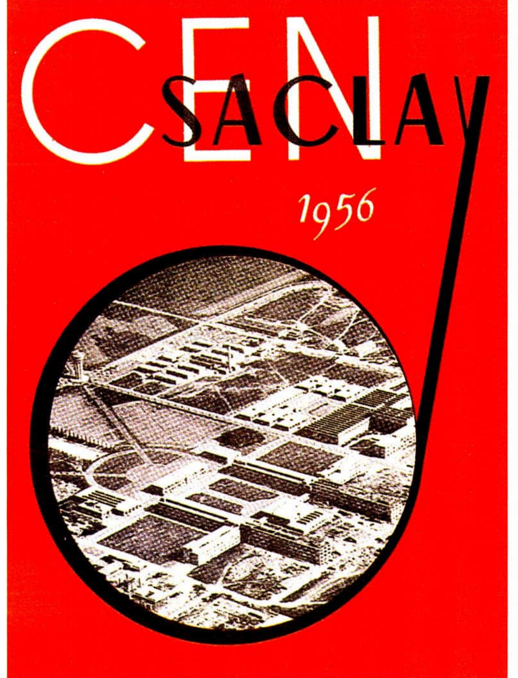






6 : Salle de commande du réacteur G1 de Marcoule.

À partir de 1957, les activités militaires prennent une nouvelle tournure, dessinant clairement la vocation hybride civil-militaire du Commissariat à l'énergie atomique. L'arrivée du général de Gaulle au pouvoir en 1958 et la nomination de Pierre Guillaumat au ministère de la Défense donnent un coup d'accélérateur aux recherches militaires, avec la création au mois de septembre 1958 de la direction des applications militaires (DAM). Deux ans plus tard, le 13 février 1960, Gerboise bleue, la première bombe nucléaire française, explose à Reggane, au Sahara. Dans le même temps, le CEA entreprend en 1959 la construction de l'usine de séparation isotopique de Pierrelatte qui permet la production d'uranium enrichi indispensable à la réalisation d'armes nucléaires. Le Commissariat commence aussi l'étude d'un sous-marin fonctionnant à l'uranium enrichi, ce qui permet d'explorer la nouvelle voie des réacteurs à eau pressurisée promis à un bel avenir.




Au cœur de cette stratégie, le Centre d'études nucléaires de Saclay émerge comme un lieu d'expériences majeur, où s'équilibrent les activités de recherche fondamentale et celles de recherche appliquée. Les deux responsables du Commissariat, le haut-commissaire Francis Perrin et l'administrateur général Pierre Guillaumat, vont influencer durablement l'organisme grâce à leurs visions complémentaires. Le premier s'attache à préserver la recherche de base et la cohérence des projets scientifiques en cours, le second veille à ce que se développent des perspectives d'applications industrielles. Certes, leurs débats peuvent être vifs, Pierre Guillaumat étant, par exemple, réticent à voir se développer la biologie, un secteur qui sort selon lui du domaine de compétences du Commissariat. Dans les faits, l'opposition entre recherche fondamentale et applications industrielles cède toujours le pas à une vision intégrant les deux grands types de recherche, une dualité qui est et restera l'un des grands atouts du CEA. Significativement, Francis Perrin déclare lors du comité de l'énergie atomique du 7 juin 1956 : *« Les recherches* [que nous menons] *sont indispensables au développement des programmes industriels futurs. »*

Principal centre d'études civiles du Commissariat, Saclay apparaît comme l'un des pôles emblématiques de cette conception, véritable creuset intellectuel où se croisent et s'échangent compétences et idées, où s'élaborent les grands projets scientifiques. La plupart des équipes qui créeront les autres centres du CEA se forment sur le plateau du sud-ouest parisien.

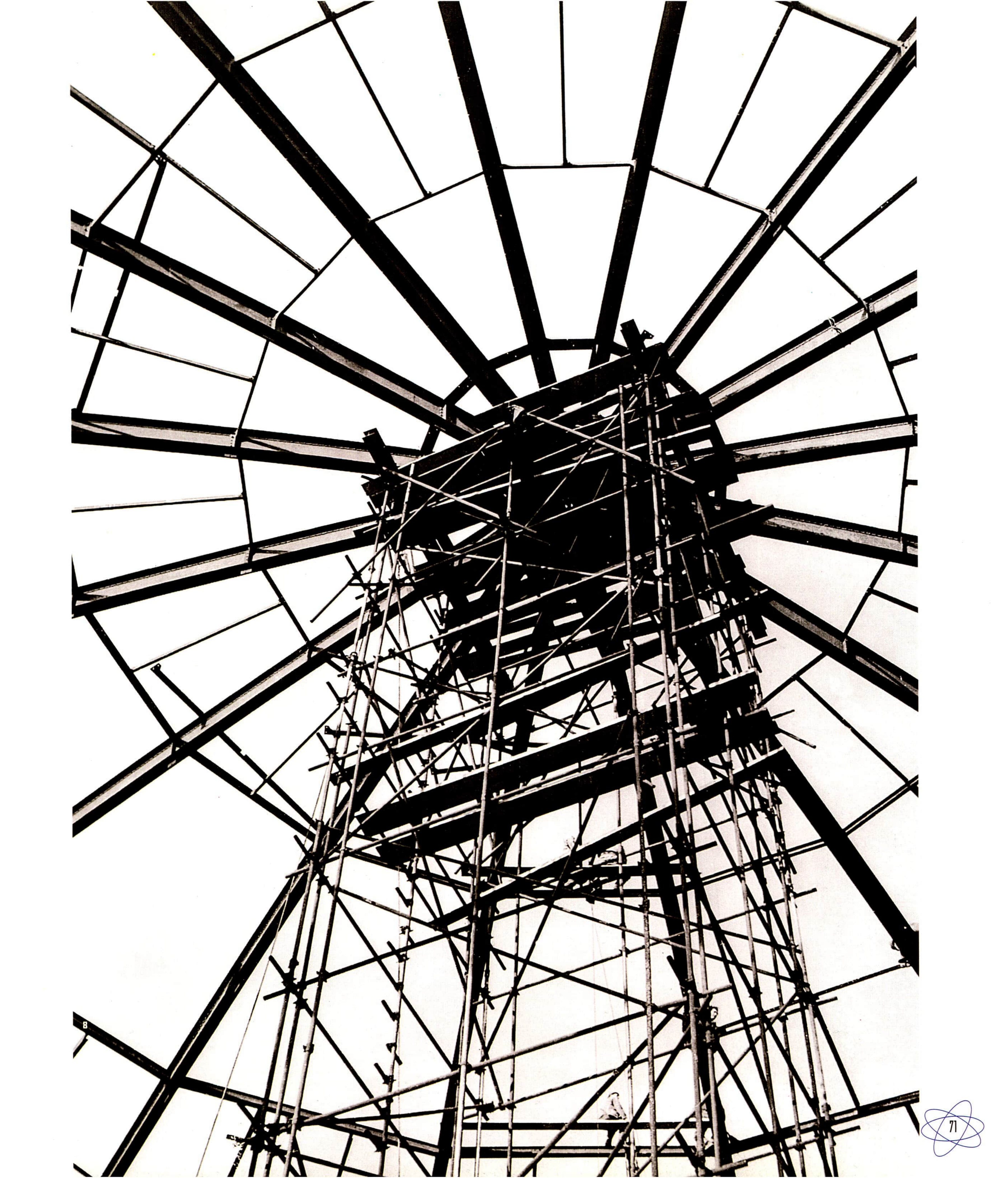
# L'expansion

Début 1953, le site phare du CEA reste un immense bourbier où l'on circule toujours avec peine... Anatole Abragam, qui avait quitté les casemates du fort de Châtillon quelques années plus tôt, raconte ses premières impressions à son retour : « *En revenant en France à l'automne 1953, je trouvai pas mal de changements. Le nouveau centre avait ouvert pendant mon absence et était un véritable bourbier au point de recevoir le surnom bien oublié de Bikini sur-m...* ». Après l'achèvement des tranches I et I bis, qui forgent le style si particulier du centre, une nouvelle phase débute à partir de 1953, dite tranche « scientifique ». Au programme : la construction du bâtiment en H, maintes fois remaniée, qui doit abriter dans ses ailes les laboratoires de physique nucléaire, de chimie physique et appliquée, et la biologie. Dans un premier temps, l'ensemble ne comporte que les bâtiments orientés à l'est et les deux branches latérales, reliés par la documentation. Derrière, c'est la gare routière. Les bâtiments ouest seront ajoutés plus tardivement. Le concept du bâtiment en H est révélateur d'un parti pris architectural fondé sur la volonté exprimée par les fondateurs du centre de mêler intimement la théorie et la pratique. On y trouve quelques bureaux enserrés entre de vastes laboratoires et un point de rencontre qui comprend une grande bibliothèque avec une ambiance chaleureuse, une salle de réunion et une salle de conférence de 300 places. Contrairement à la première tranche, la construction de ce grand corps de bâtiment se termine dans les délais en 1954. L'ensemble des bâtiments historiques, pensés et conçus par les fondateurs et dessinés par Auguste Perret, qui meurt le 25 février 1954, est maintenant terminé. Pourtant, très vite, il apparaît que les locaux à disposition des chercheurs sont insuffisants. La croissance exponentielle des activités du centre et la programmation de nombreux équipements de recherche obligent à repenser son aménagement d'ensemble et à prévoir une nouvelle série de constructions.

Cette réflexion est menée par Jean Debiesse qui succède à Jules Guéron en mars 1954. Agrégé de physique et inspecteur général de l'Instruction publique, le nouveau directeur donne une impulsion décisive au tout jeune site de recherches. « *Doué d'un exceptionnel sens du contact et d'un enthousiasme débordant, il a su mobiliser tous les moyens pour faire de Saclay le grand centre que nous connaissons actuellement* », se souviennent les témoins de l'époque. Dès son arrivée, il comprend qu'il faut poursuivre l'aménagement du site et accélérer le rythme des constructions. Armé de la devise « Vite et mal », qu'il aime citer non sans auto-ironie, il lance un nouveau programme d'aménagement très pragmatique.

**7** : Raymond Maillet, Jean Debiesse et Stanislas Winter sur l'emplacement du futur Synchrotron Saturne avec au fond à gauche l'accélérateur Van de Graaff, mai 1955.
**8** : La structure métallique du dôme d'EL3, première pile-tambour.



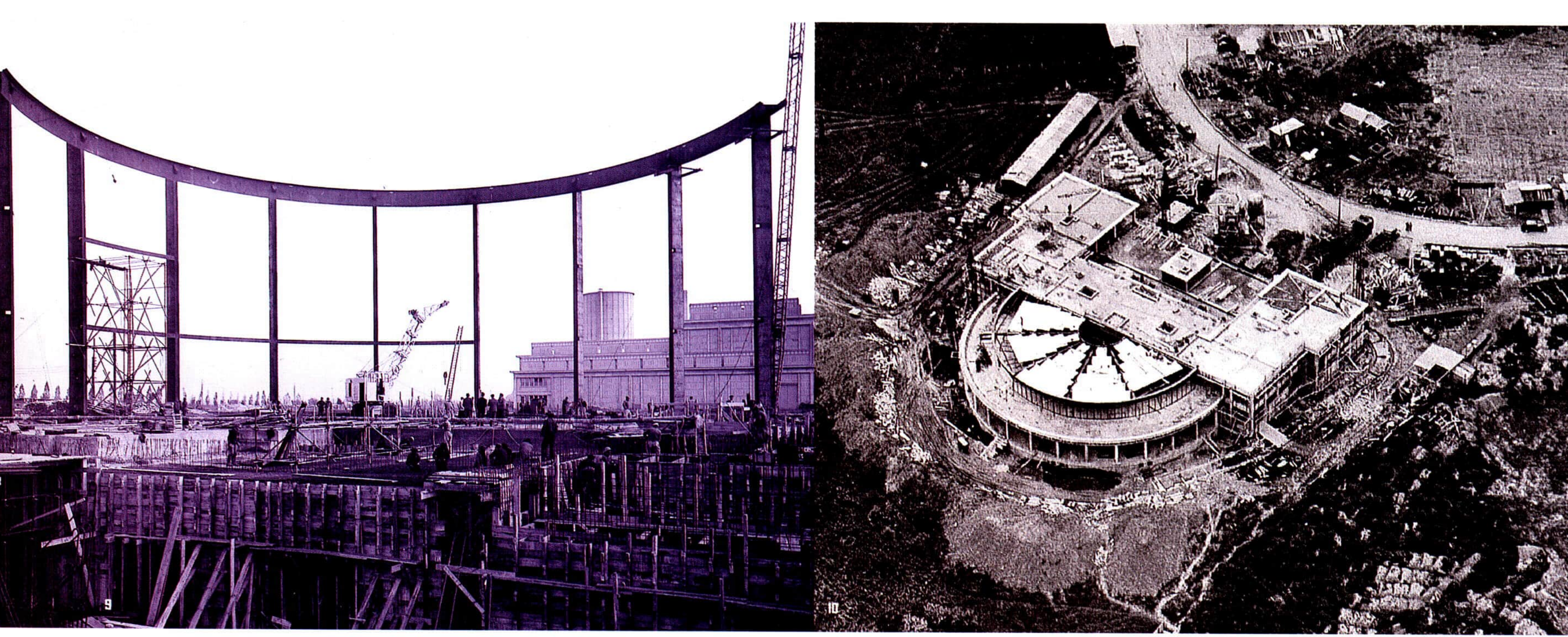


À côté des grandes installations dont la conception doit faire l'objet d'une attention très particulière, Jean Debiesse fait édifier une série de bâtiments comprenant des laboratoires aux plans quasiment identiques, sans se perdre dans le détail de l'aménagement. *« Son idée était de fournir aux chercheurs des bureaux et des laboratoires avec tous les équipements de base le plus rapidement possible, sachant que des aménagements spéciaux pouvaient être réalisés au cas par cas »*, souligne Pierre Fromageot. Seul regret pour certains, cette rapidité de construction se fait au prix de quelques libertés avec le style de Perret. Au fil des constructions, la ligne architecturale perd sensiblement de sa force, comme le révèlent maints détails : le masquage de l'ossature par le revêtement, la réduction puis la suppression des corniches, l'effacement du relief des façades aux encadrements de fenêtre... Mais la force des grands tracés de Perret permet aux implantations successives de s'intégrer harmonieusement au paysage en respectant l'unité de l'ensemble. De même, la teinte rose des matériaux de revêtement ou de la peinture sur enduit de la maçonnerie fait la jonction avec le passé et maintient une certaine homogénéité de style avec les bâtiments historiques.

**9** : EL3 en construction, au loin, EL2 avec sa tour de refroidissement.
**10** : Construction de la cantine n° 2, 1958.

Cette approche ouverte permet à Jean Debiesse de lancer, à partir de 1954-1955, une troisième tranche de travaux extrêmement ambitieuse. De nombreux bâtiments sont construits et donnent à Saclay une grande part de sa physionomie actuelle. Deux bâtiments sont édifiés pour abriter les piles, celui de la pile EL3, complété par un autre bâtiment d'environ 600 m$^2$ de surface le reliant à la pile EL2, et celui dit des « piles secondaires » pour accueillir les réacteurs expérimentaux. Deux édifices sont bâtis pour recevoir les nouveaux accélérateurs : le cosmotron et l'accélérateur linéaire de particules ainsi que certains équipements spéciaux comme les Laboratoires de haute activité comprenant dix cellules-laboratoires pour faire des études sur des produits actifs, ou le bâtiment isolé et hautement sécurisé pour les travaux sur le béryllium.

S'y ajoutent la construction ou l'extension de nombreux bâtiments destinés à la recherche ou à des services généraux : une annexe pour le service des constructions électriques, un atelier pour les études mécaniques et un prolongement du bâtiment dit « des techniciens », un immeuble avec ateliers et bureaux pour le Service de technologie qui étudie le comportement des matériaux. Le bâtiment en H subit également deux grosses modifications et prend sa forme définitive puisque la direction du centre décide de rajouter aux bâtiments existants « B » et « C » deux ailes supplémentaires vers l'ouest pour y rassembler les divers services du Département des





**11** : La gare routière pour le transport du personnel.

piles et le Service des radioéléments artificiels. Enfin, avant même la création de l'INSTN, on construit un nouveau bâtiment entièrement dédié à la formation pour les cours de génie atomique ou les exposés à destination des utilisateurs de radioéléments. Un soin particulier est accordé à ce bâtiment *« traité en façade dans le même style que la cantine »*, c'est-à-dire dans le style d'Auguste Perret. Il *« comporte un rez-de-chaussée avec de grandes baies vitrées et des poteaux faits de béton en saillie et une salle de conférence pour 50 personnes, ainsi que trois laboratoires spécialisés (physique, chimie et biologie) »*.

L'accès au centre par la porte est et la RN 306 est entièrement repensé. *« Cet accès,* souligne-t-on en 1955, *est actuellement insuffisant aux heures de pointe. Compte tenu de l'expansion prévue du centre, cette situation doit empirer dans les mois à venir. »* Face à ce constat, la direction décide d'aménager la porte nord en construisant un pavillon pour faciliter l'accès. Cette tranche inclut également un certain nombre d'aménagements techniques pour anticiper les besoins d'un centre en pleine croissance : des travaux importants sur les réseaux d'eau, de gaz, d'électricité, de téléphone sont effectués pour augmenter ses capacités. Enfin, il est prévu d'achever le réseau routier pour en finir enfin avec le bourbier d'un site en perpétuel chantier depuis sa création… Pourtant, un an après l'achèvement de cette tranche, en 1955, de nouvelles constructions débutent : les Laboratoires de haute activité, mis en service en 1955, un vaste bâtiment pour l'accélérateur Saturne, inauguré en 1958, et le laboratoire d'examen des combustibles irradiés (LECI), qui entrera en fonctionnement en 1959. À la fin des années 50, la plupart des équipements de Saclay sont en place. Le centre prend sa physionomie actuelle. D'autres installations fleuriront sur le site durant la décennie suivante, comme la pile Osiris qui diverge en 1966, ou l'accélérateur linéaire installé à l'Orme des Merisiers, dont l'aménagement reste dans la mémoire de tous comme les grands chantiers des années 60.

De la seconde moitié des années 50 aux années 60, le personnel du CEA augmente considérablement, passant en dix ans de 2000 à 26000 personnes. Les effectifs de Saclay suivent le mouvement, passant de 700 personnes en 1953 à plus de 4000 en 1959. Cette évolution se poursuit au cours des années 60, les effectifs s'élevant à près de 5000 agents en 1966. Et ce, sans compter les quelque 1500 stagiaires, industriels et universitaires et 2000 ouvriers appartenant à des entreprises extérieures qui fréquentent le centre quotidiennement, soit plus de 8000 personnes… Il faut attendre la seconde moitié des années 60 pour voir le rythme des embauches se ralentir et tomber de 3,1 % en 1966 à 2,5 % en 1967 et 1,2 % en 1968. En 1968, Saclay compte 5500 agents CEA.

# La radioprotection et la surveillance de l'environnement à Saclay

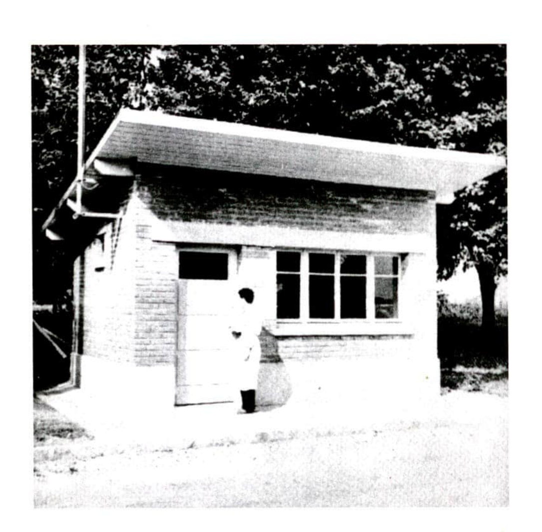
Dès sa création, le CEA va mettre en place une organisation originale pour veiller à la protection contre les dangers des rayonnements ionisants. Ce modèle d'organisation, basée sur l'existence de services spécialisés (on dit aujourd'hui « services compétents ») indépendants des exploitants des installations nucléaires, va connaître une large diffusion et résister aux épreuves du temps. Ces services veillent au respect des normes de radioprotection proposées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), commission non-gouvernementale créée dans les années 30 pour les applications médicales et qui a en 1948 étendu son domaine aux applications industrielles du nucléaire.



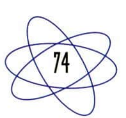

Le premier Service de radioprotection, le Service de protection contre les radiations de Saclay (SPR) dépend du haut-commissaire qui s'appuie également sur le SHARP (Service d'hygiène atomique et de radiopathologie). En 1956, le SPR deviendra le SCRGR (Service de contrôle des radiations et du génie radioactif) avec la mise en service des premières grandes installations de décontamination, de transport et de traitement des effluents et déchets radiaoactifs. Le SPR de Saclay s'occupe des installations du site mais également de celles du fort de Châtillon. Il participe à la conception des piles G1, G2 de Marcoule ainsi qu'à celle de EL4, EDF1 (Chinon).

Les premières installations (Van de Graaff, EL2, cyclotron, . . .) sont équipées de TCR (Tableau de contrôle des rayonnements), exploités par le SPR, qui permettent de surveiller de manière centralisée les paramètres radiologiques des installations. La protection et la surveillance des personnels et de l'environnement seront, comme le pilotage des piles ou des accélérateurs, un vecteur important de développement d'une instrumentation sophistiquée et hautement performante, source de transferts vers une industrie en plein essor.

La radioprotection du personnel repose sur des mesures préventives de surveillance des locaux de travail ou des opérations à risque (manipulation ou transport de matières radioactives) qui nécessitent, dès 1956, l'affectation d'agents de radioprotection au sein même des installations. Le respect des limites d'exposition du personnel est vérifié par la photodosimétrie. La distribution et la collecte des films dosimétriques se pratique dans les premières années tous les 15 jours, de manière à obtenir des données plus précises. Indépendant des installations, le Service de radioprotection n'est pas toujours le bienvenu dans celles-ci. Il faut parfois un rappel à l'ordre du haut-commissaire aux chefs de départements et de services pour lui faciliter l'accès ou pour que soit soumise à son avis la conception des installations.



La surveillance des rejets des installations et de l'environnement de Saclay est une autre activité importante du SPR. Déjà, en 1955, 4 stations de surveillance de l'environnement sont installées à Saint-Aubin, Villiers-le-Bâcle, Saclay village ainsi qu'à l'intérieur du centre. Bien avant Tchernobyl, elles détecteront régulièrement les

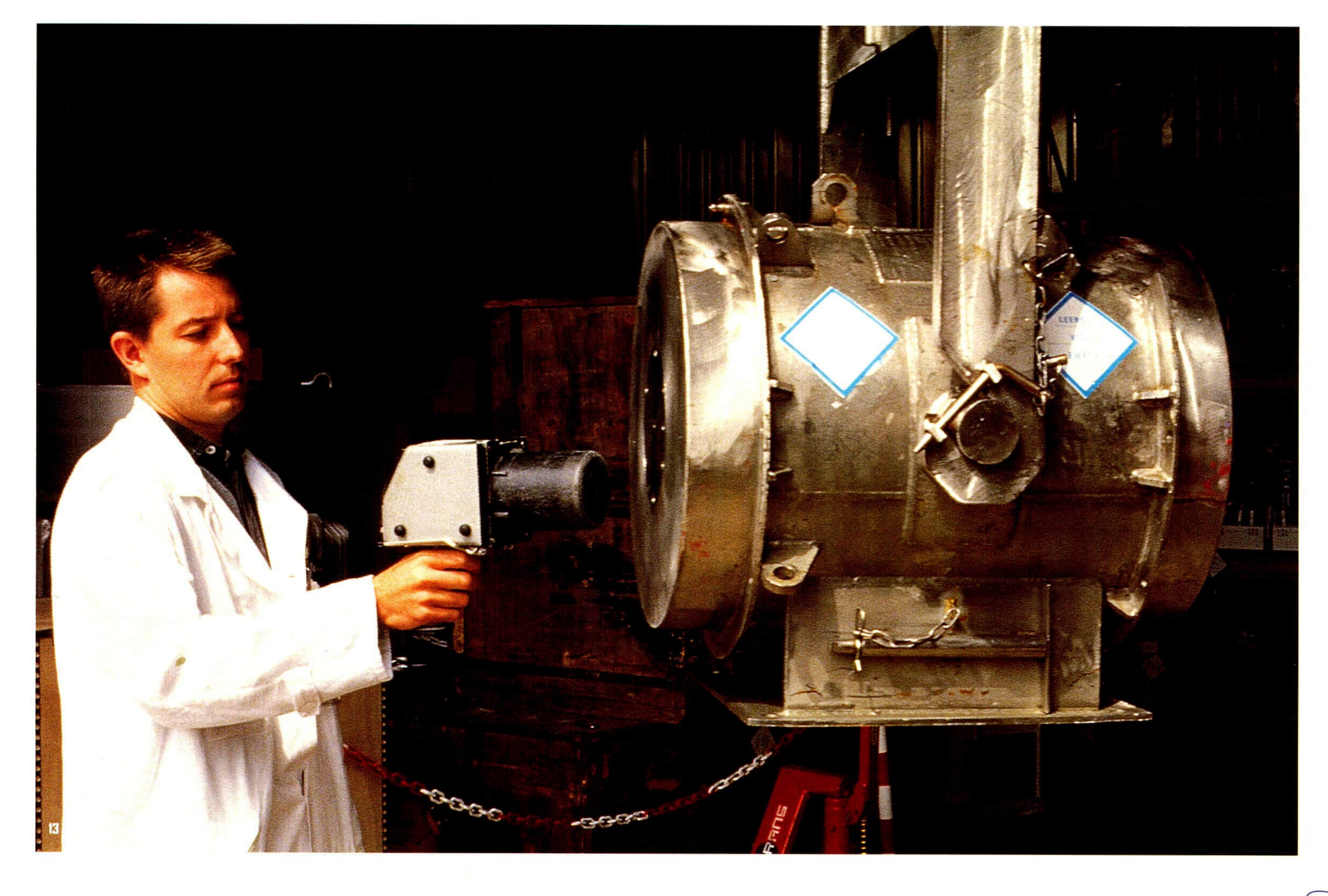


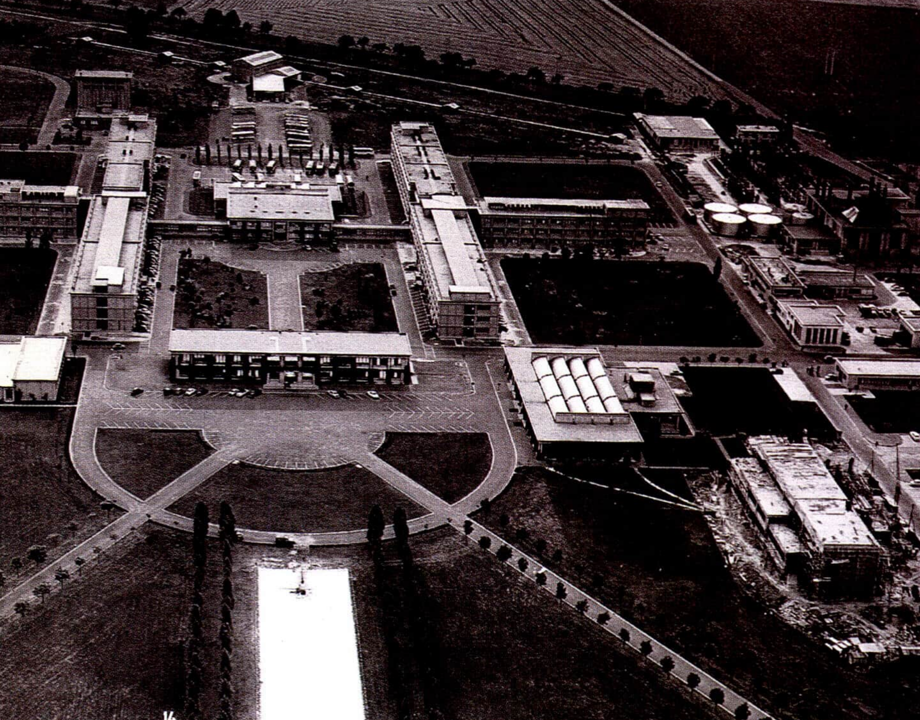
retombées d'essais nucléaires et les résultats de ces stations seront toujours régulièrement diffusés. Après avoir participé à la conception des premières « usines » de traitement des effluents et des déchets radioactifs de Saclay et de Fontenay-aux-Roses, le SCRGR, qui reviendra rapidement à son nom d'origine (Section puis Service de protection contre les rayonnements), dirigera l'exploitation des installations de Saclay jusqu'au milieu des années 90, date à partir de laquelle le SPR sera à nouveau indépendant de toutes les installations nucléaires. Les services de radioprotection ont veillé depuis 50 ans à la conservation des archives environnementales ce qui permet, aujourd'hui, de revenir aux incidents et contaminations passées lors de la mise en application de nouvelles normes.

Le Service de radioprotection de Saclay s'appuie sur des laboratoires d'analyse « bas bruit de fond », des stations de prélèvements dans toutes les directions autour du site et une surveillance permanente des exutoires gazeux et liquides. Il publie annuellement le bilan des rejets et transmet mensuellement tous ses résultats à l'Institut de recherche et de sûreté nucléaire, l'IRSN.

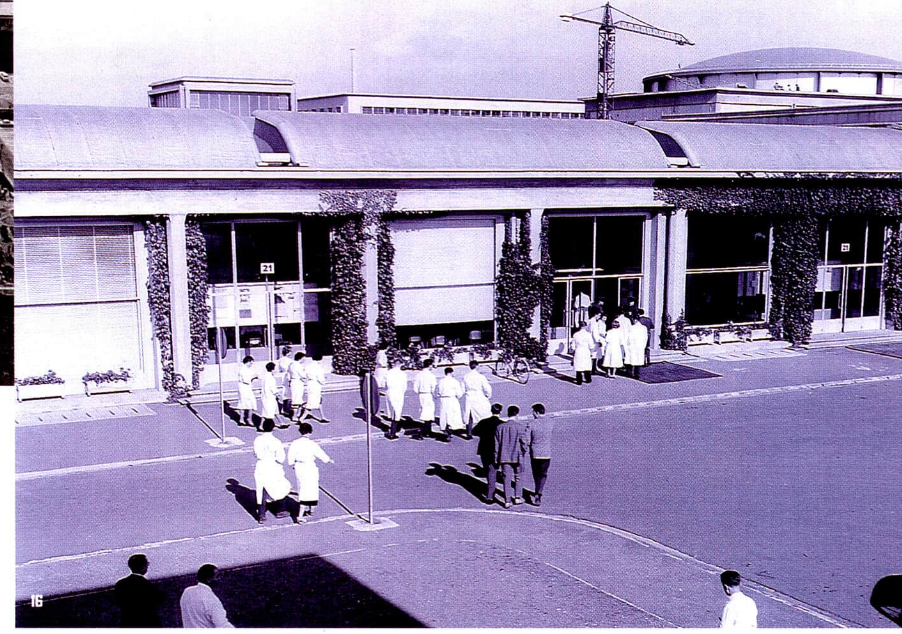
En cas d'accident ou d'incident, une organisation de crise est déclenchée immédiatement. Elle implique le corps de pompiers-secouristes de la formation locale de sécurité, formé à l'intervention en milieu radioactif, les spécialistes d'hygiène et de sécurité, les cellules de sûreté et les services techniques du centre, et si nécessaire le service médical du travail. Selon la gravité de l'incident ou de l'accident, le directeur du centre applique le plan d'urgence interne et, pour des événements susceptibles d'avoir des conséquences vers l'extérieur, demande au préfet de déclencher le plan particulier d'intervention qui fait appel à l'ensemble des moyens locaux ou nationaux. Depuis plus de 50 ans, il n'a jamais été nécessaire de mettre en œuvre un tel plan dans aucun des centres du CEA.

**12** : Station de surveillance de Saint-Aubin en 1955.
**13** : Contrôle de châteaux de transport à l'aide de la babyline. Ces châteaux font l'objet d'agréments de l'autorité de sûreté nucléaire.


13





**14** : La « perspective versaillaise » de Saclay en 1959.

**15** : Timbre créé par Jacques Combet et émis par la Poste à l'occasion du vingtième anniversaire du CEA.

**16** : La cantine n° 1 en fonctionnement dans les années 60.

À la différence de l'époque précédente où « *les recrutements se faisaient essentiellement par cooptation et non sans difficulté pour attirer les jeunes diplômés happés par les autres secteurs industriels voués à la remise en route de la production nationale et aux grands chantiers de la France en reconstruction*[12] », les jeunes diplômés rejoignent massivement le CEA. On compte 57 % de nouveaux recrutés ayant un diplôme de grande école ou un doctorat pour la période 1946-1950, 69 % pour la période 1951-1955. Parallèlement, le pourcentage de cadres entrant sur la seule base de leur expérience passe de 12 % à 4 %. Ces tendances se confirment les années suivantes, des centaines de jeunes entrent au CEA, séduits par la recherche, alors que « *tout est encore à découvrir et à inventer* ». Le prestige du Commissariat à l'énergie atomique, la fascination qu'exercent les « atomistes de la première heure » attirent les élèves des écoles les plus prestigieuses, en particulier les polytechniciens. Une nouvelle génération s'ajoute à celle des pionniers héroïques de Zoé. Tous se souviennent de l'atmosphère « *très jeune qui régnait dans le centre. On travaillait énormément, mais l'ambiance était détendue et nous refaisions le monde tous les jours !* » Un peu partout sur le site, les chercheurs aiment à « phosphorer » dans des réunions de travail, séminaires, journées qu'ils organisent de manière plus ou moins informelle dans les services. Pourtant, le centre, poussé par la croissance continue des effectifs, s'est peu à peu structuré. Les méthodes de travail changent et se professionnalisent. Mais les grandes décisions restent souvent prises de manière plus ou moins informelle, lors des mémorables repas du vendredi organisés par le directeur du centre et ouverts aux chefs de service.

[12] Sophie Queran, « Les cadres scientifiques des centres d'études nucléaires de Saclay et de Fontenay-aux-Roses » 1946-1948. Mémoire de maîtrise, Université de Paris I, 2001.

# Une réputation internationale

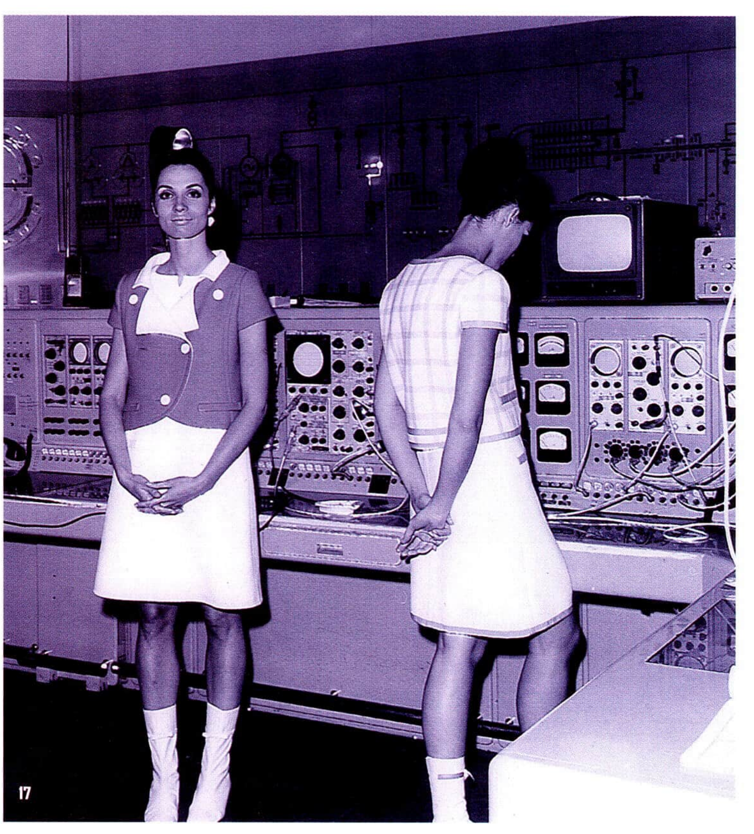
Dans les années 50, le souvenir des pionniers de l'eau lourde qui ont mis en scène leurs propres aventures dans le film réalisé par le Français Jean Dreville et le Norvégien Titus Viebe-Müller est encore vivace. Les fondateurs du CEA et de Saclay vivent la période d'entente et d'union sacrée de la reconstruction. Les atomistes, fervents défenseurs d'une science nucléaire en plein essor, bénéficient d'un prestige certain, même si la course à l'armement atomique dans le climat pesant de la guerre froide et la construction des premières centrales font déjà naître des oppositions.

À cette époque, le centre de Saclay, qui a fait beaucoup parler de lui en raison du rôle déterminant de Frédéric Joliot-Curie dans sa création, s'affirme au cœur de la recherche atomique en France. On confond d'ailleurs volontiers Saclay avec le CEA. Le centre, devenu en quelque sorte le symbole du renouveau de la recherche française d'après-guerre, apparaît comme l'une des principales vitrines de la recherche nationale. Point de passage obligé de toutes les visites officielles, Saclay accueille un bon nombre d'hôtes illustres. Les signatures du livre d'or témoignent des visites de nombreux chefs d'État : le maréchal Tito, le futur roi d'Espagne Juan Carlos, le roi Baudoin de Belgique… sans oublier le général de Gaulle. Toutes ces visites sont orchestrées par Jean Debiesse qui, grâce à ses qualités de pédagogue, se transforme en « ambassadeur » du nucléaire, toujours prêt à expliquer avec brio la recherche à Saclay. Un « messager de la science nucléaire » en somme. *« Ses cycles de conférences sur l'énergie, qu'il animait avec ses amis, ont permis souvent de vaincre des inquiétudes, des incertitudes, voire des refus. Ses allusions à la révolution du feu… exemple de ses démonstrations percutantes qui exprimaient la lutte constante qu'il menait contre l'obscurantisme et l'intolérance* [13]*… »*

Jean Debiesse met la même ardeur à organiser les conférences du samedi auxquelles il invite, pour son plus grand plaisir, des orateurs prestigieux venant de tous les horizons. De même, les premières visites publiques sont instaurées, Saclay figurant dans le *Guide Michelin* à partir de 1957 ! En 1967, un visiteur éminent fait don au centre d'un couple de cerfs sika, une espèce rare originaire de l'Ouest du continent asiatique. Jean Debiesse décide de leur affecter un espace. Peu à peu, d'autres animaux sont confiés ou offerts au centre et constituent un petit parc zoologique, bien connu du personnel et des voisins qui aiment y venir le week-end avec leurs enfants. Jean Debiesse n'hésite pas à prêter ses locaux au couturier Courrèges pour un défilé « atomique » !

Dans un tout autre registre, les premiers cours prodigués au CEA au début des années 50 font beaucoup pour la réputation du centre. Dès 1950, des dizaines de personnes venues de la France entière, dont les futurs prix Nobel Alfred Kastler, Pierre-Gilles de Gennes et Claude Cohen-Tannoudji, suivent des enseignements novateurs portant sur la mécanique quantique, la résonance magnétique nucléaire ou l'utilisation des radioéléments. Le succès de ces premiers cycles de formation incite Jean Debiesse, avec l'appui d'Étienne Bauer et du directeur scientifique Louis Lemoigne, à mettre sur pied l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN). Créé par un décret en 1956, cet établissement est placé sous la double tutelle de l'Industrie et de l'Enseignement supérieur. Il dispense des formations de base spécifiques et des formations de troisième cycle. De fait, en quelques années, l'INSTN devient la référence de base dans le domaine de la formation et de l'enseignement des sciences nucléaires. Une bonne partie des anciens élèves rejoint ensuite les laboratoires pour y effectuer des stages ou une thèse. À ce stade, les thésards sont directement gérés par le CEA. Cette mission est confiée à Adèle Bloch et Jean Combrisson, chargés de suivre toutes ces questions pour le compte de la direction de l'Institut de recherche fondamentale à partir des années 1970.

[13] M.J. Fraudeau, directeur du CRA/CNAM de Saclay, dans l'hommage à Jean Debiesse.



**17** : Défilé Courrèges organisé à Saclay en 1970.



# Saclay, la vitrine scientifique et technique de la France

**18** : Maurice Schumann, ministre d'État, le 3 juin 1967.

**19** : M. Ikeda, ministre d'État chargé des affaires scientifiques du Japon, le 28 juin 1961.

Avec toute ma reconnaissance et mon admiration pour l'oeuvre du CEA, de ses chercheurs, ingénieurs, techniciens. Merci.

Edith Cresson

Visite de Madame Edith Cresson, Premier Ministre, accompagnée de :

Pierre Joxe, Ministre de la Défense

Hubert Curien, Ministre de la Recherche et de la Technologie

Dominique Strauss-Kahn, Ministre délégué à l'Industrie et au Commerce Extérieur

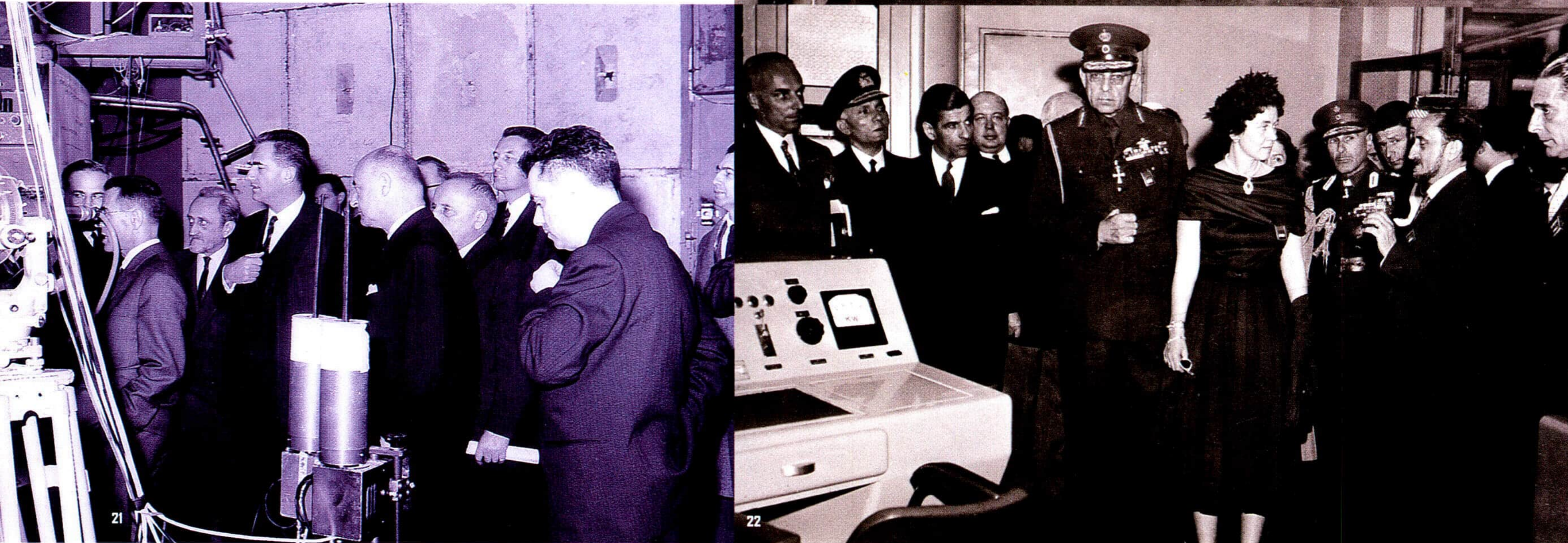
le 20 Janvier 1992

**20** : Maurice Herzog, haut-commissaire à la Jeunesse et aux Sports, le 23 juillet 1960.

**21** : Alain Peyrefitte, ministre délégué de la Recherche scientifique et des questions atomiques et spatiales, le 8 février 1966.

**22** : Le roi et la reine de Grèce, le 7 juin 1956.





Paul R.

Frederika

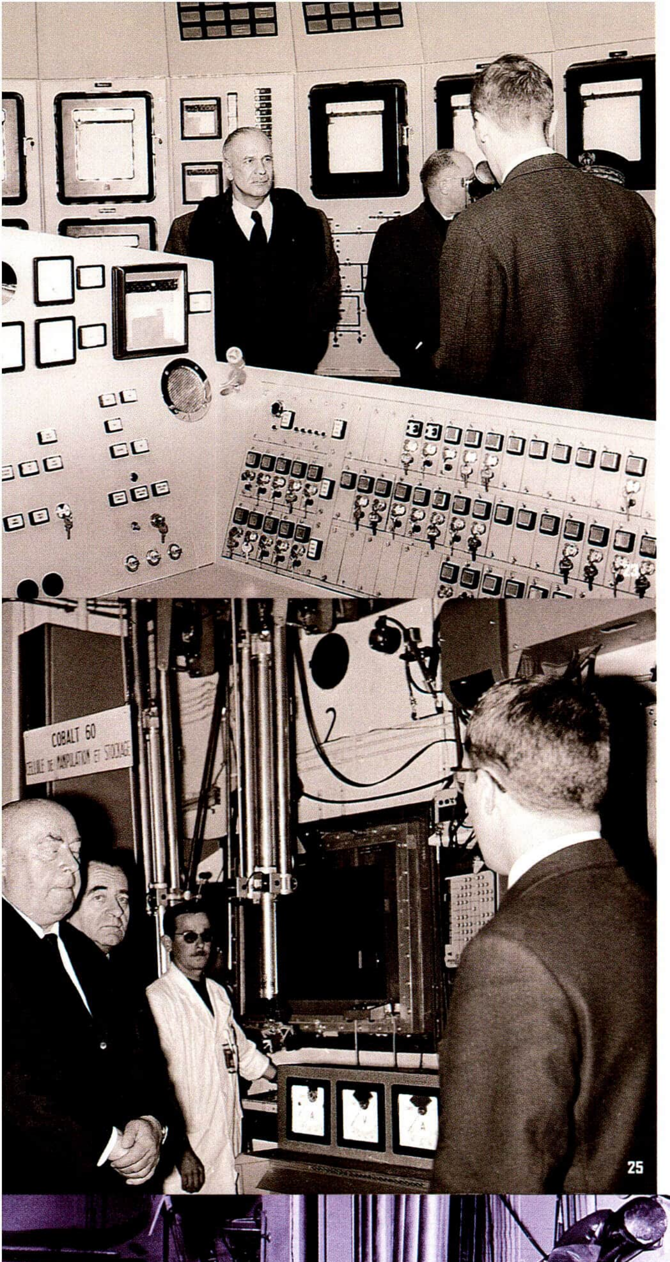
Visite du Roi et de la Reine des Hellènes
6 juin 1956

Robert Oppenheimer le 5 juin 1958.

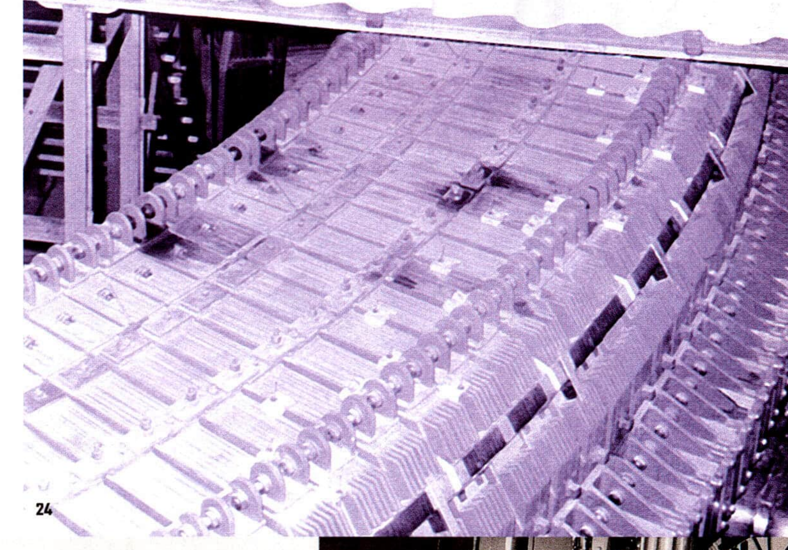
Visite de Monsieur le Professeur Robert Oppenheimer
le 5 juin 1958

Visite de Son Altesse Royale
le Prince Philip, Duc d'Edimbourg
le 10 avril 1957









**23** : Gaston Palewski, ministre d'État chargé de la Recherche scientifique et des questions spatiales, le 4 juin 1962.

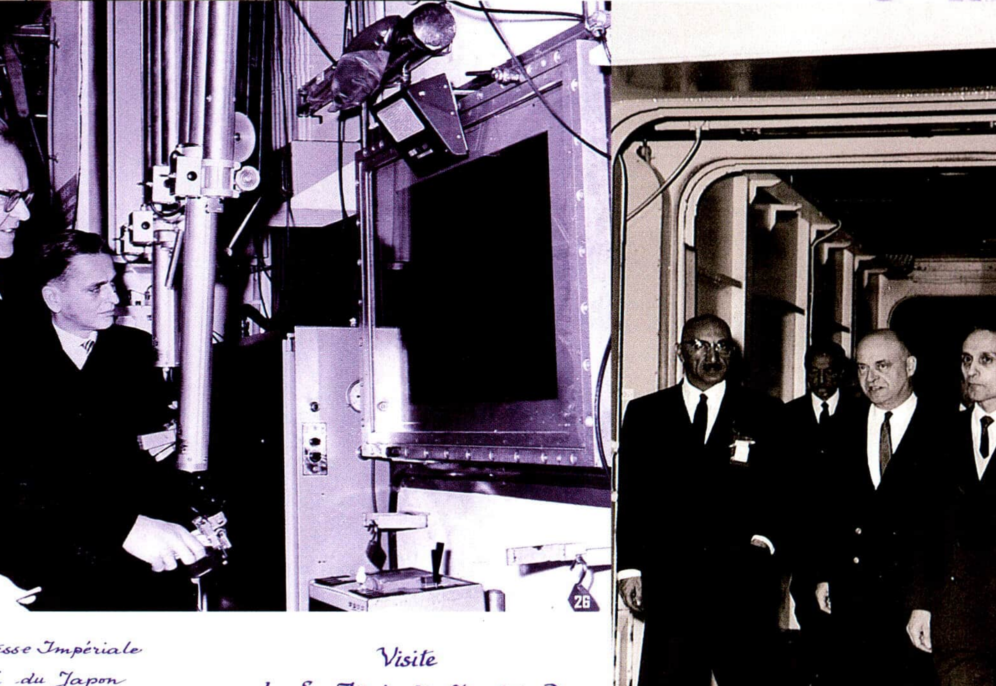
**24** : Le roi des Belges, Baudoin, le 27 mai 1961.

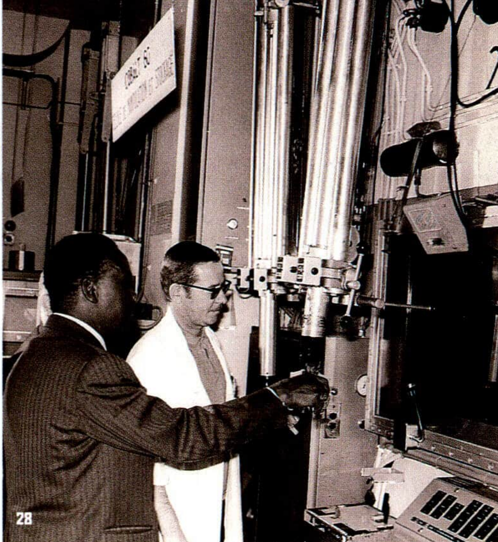
**25** : Josef Cyrankiewicz, président du Conseil de Pologne, 1965.

**26** : Le Premier ministre suédois, Tage Erlander, le 14 janvier 1963.

**27** : Sa Majesté Zaher Shah, roi d'Afghanistan, le 2 juin 1965.

**28** : Le Président du Dahomey, Adolphe Soglo, le 22 novembre 1967.





*Visite de Son Altesse Impériale
le Prince Hitaschi du Japon
le 21 octobre 1965*

正仁
Masahito
Narita
S. Sato

*Visite
de Sa Majesté Impériale
Mohammad Reza Pahlavi
Aryamehr Shahanshah
de L'Iran*

25 Juin 1974
M.R. Pahlavi

*Visite de M. Hideki Yukawa
Prix Nobel de Physique 1949
Directeur de l'Institut de Recherche fondamentale
de l'Université de Kyoto
le 31 octobre 1963*

Hideki Yukawa
湯川秀樹

# Enseigner les sciences de l'atome, les débuts de l'INSTN

Dès les origines, l'une des tâches attribuées au CEA est d'accompagner la formation des sciences nucléaires qui est alors totalement absente des cursus traditionnels. Par ailleurs, avec la généralisation de l'utilisation des radioéléments, le mauvais maniement de certains appareils fait courir de graves dangers à leurs utilisateurs. Cette situation inquiète les pouvoirs publics et le corps médical. Dès 1950, le CEA confie au professeur Boris Grimberg le soin de dispenser les premiers cours aux utilisateurs des radioéléments. En 1951, le CEA crée également deux cours au Conservatoire national des arts et métiers (CNAM), l'un de chimie appliquée à la science et à l'industrie, l'autre de physique nucléaire appliquée, confié initialement à Jules Guéron et Lew Kowarski. Ces cours, donnés à l'origine rue Saint-Martin à Paris, seront ensuite transférés dans un centre associé du CNAM, installé dans les locaux de l'INSTN à Saclay, permettant ainsi aux agents du centre de suivre des formations sans quitter leur lieu de travail. En 1954, des cours de génie atomique sont mis en place d'abord à Châtillon, puis à la Sorbonne et enfin à Saclay. L'objectif est avant tout de former les ingénieurs à la conception et à l'exploitation des centrales nucléaires. Ainsi, des centaines d'agents EDF s'initieront aux secrets du nucléaire avant de rejoindre les premières installations.

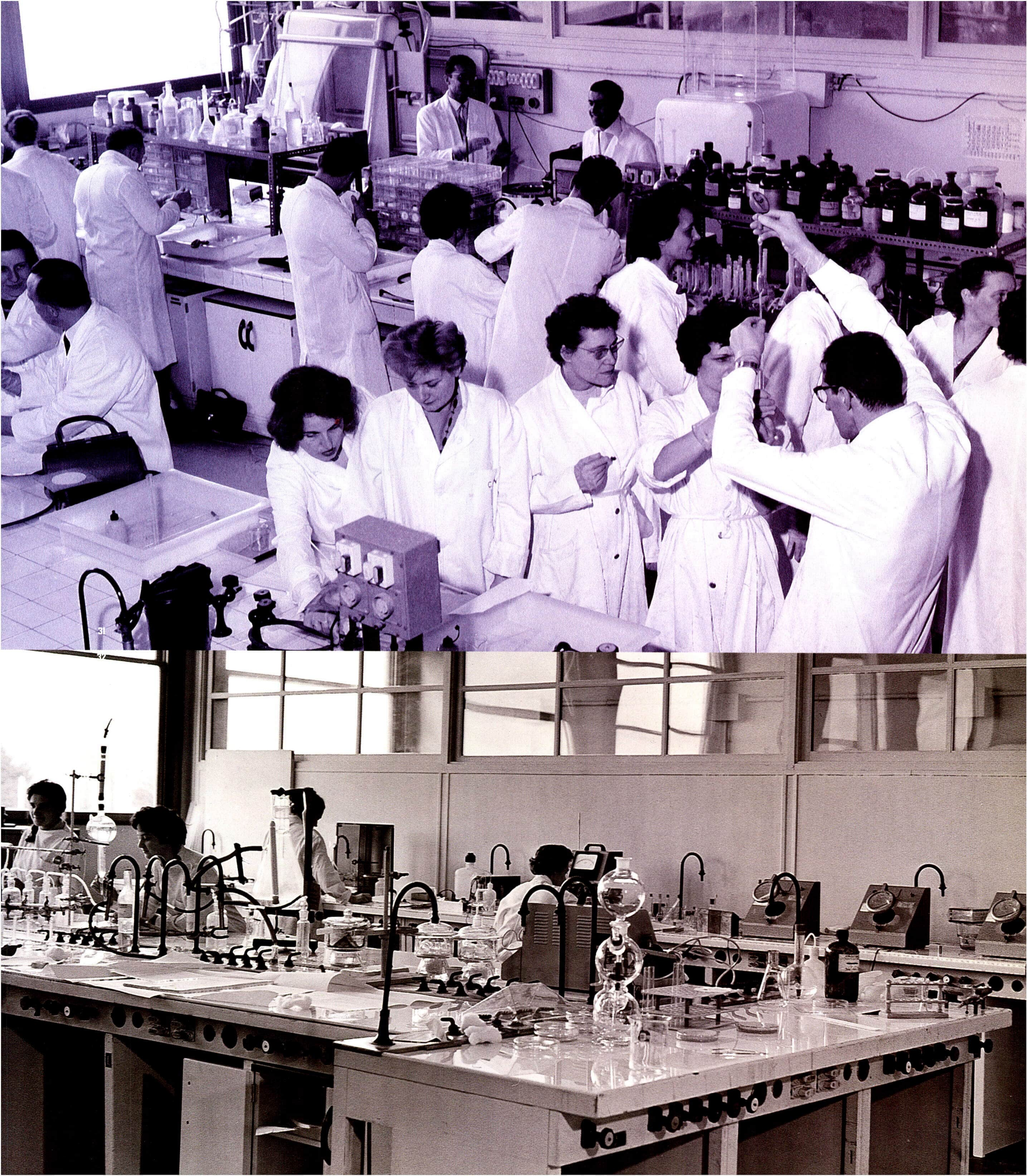
La croissance des demandes de formation liées au développement des sciences de l'atome conduit à repenser les enseignements pour leur donner plus de cohérence. C'est ainsi qu'est créé le 18 juin 1956 le nouvel Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) par décret du ministère de l'Éducation nationale. Placé sous la tutelle de l'Éducation nationale et de l'Industrie, le jeune Institut bénéficie d'un statut nouveau puisqu'il n'est ni une université, ni une école d'ingénieur.

Dans la continuité des sessions de formation débutées dans les années 50, l'INSTN développe des cycles très spécifiques de radioprotection ou de conduite des piles pour les professionnels. L'autre mission de l'Institut est de compléter la formation de base des ingénieurs confirmés pour en faire des spécialistes du nucléaire. Dans ce but, il organise des formations de troisième cycle. Un enseignement de métallurgie est mis en place en 1958, suivi d'un DEA de physique des réacteurs... Par la suite, les DEA se multiplieront jusqu'à atteindre une quarantaine aujourd'hui. Chaque fois, la création d'une formation résulte d'une alliance tripartite entre l'Institut, une ou plusieurs universités et d'un département de recherche du CEA. Au début, les chercheurs enseignent à des étudiants parfois à peine plus jeunes qu'eux...

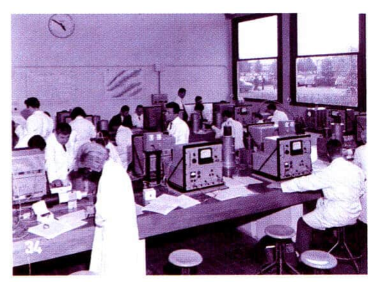
Tous les grands noms du CEA de l'époque répondent à l'appel : Messiah, Horowitz, Roth, Vendryes, Carles, Chabrillac... « *C'était une activité valorisée et valorisante et aucun des responsables de laboratoire n'hésitait à donner quelques heures de cours par semaine* », explique Yves Chelet, ancien directeur de l'INSTN. L'Institut dispose de laboratoires de recherche en biologie, chimie, physique des réacteurs où certains professeurs mènent leurs propres recherches. Au début des années 60, l'INSTN commande un réacteur, dont les études ont été orchestrées par Jean Chatoux, et qui s'inspire de la pile Argonaut du laboratoire américain d'Argonne. « *La pile Ulysse servira,* explique-t-on dans le bulletin de Saclay, *aux expériences et aux manipulations du cours de génie atomique, mais aussi à l'entraînement à la conduite des réacteurs et à la préparation des thèses de troisième cycle "physique des réacteurs".* Quant à la sécurité de la pile *"susceptible d'être mise entre des mains peu expérimentées"*, tout a été particulièrement étudié *"pour éviter le danger de fausses manœuvres : circuits de contrôle complexes, verrouillage, réactivité disponible limitée..."* » Les apprentis atomistes peuvent ainsi se familiariser avec un réacteur en toute sécurité !

**29** : Formation à l'utilisation du sodium : circuit sodium de l'INSTN.
**30** : Salle de travaux pratiques de métallurgie.
**31** : Laboratoire de chimie.
**32** : Laboratoire de biologie.

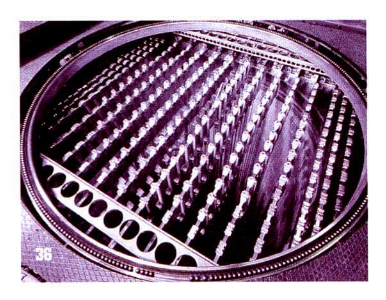


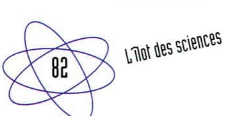

31
32

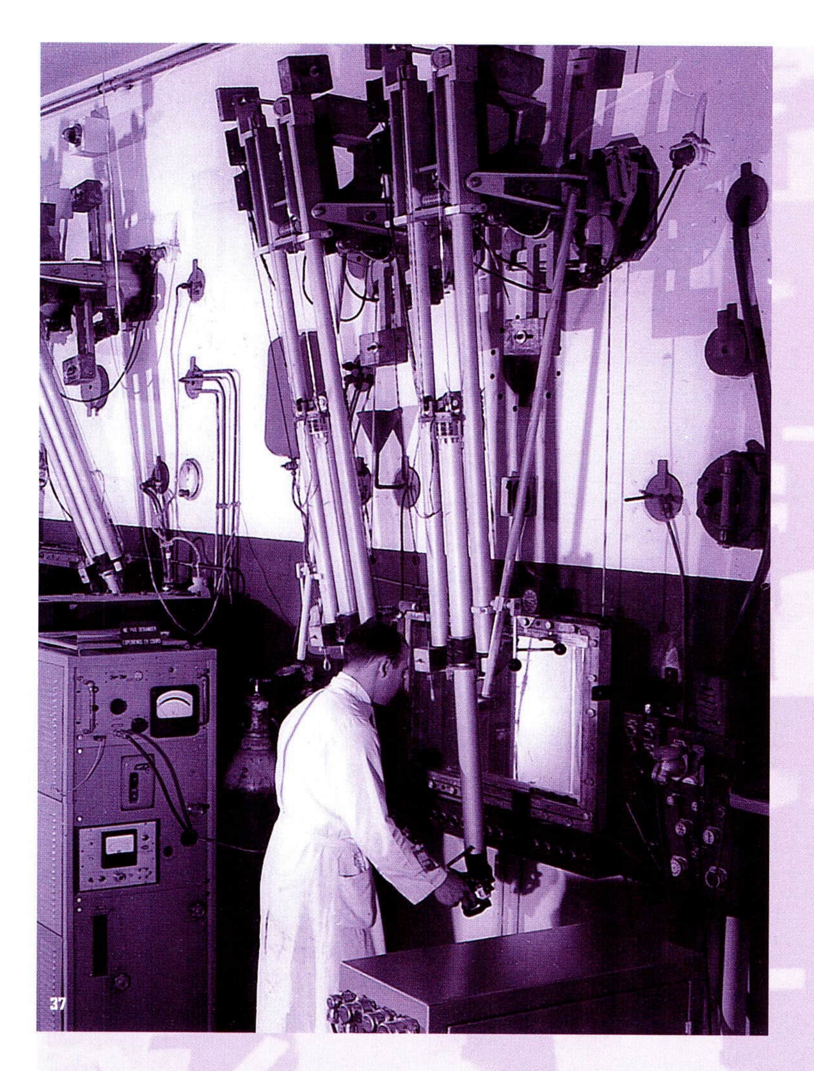
# PIONNIERS DU NUCLÉAIRE











## Les enjeux de la filière graphite-gaz

Depuis 1949, les physiciens et neutroniciens du CEA travaillent avec acharnement à la conception d'une filière nationale utilisant l'uranium naturel, seul combustible disponible à l'époque. Les techniques d'enrichissement isotopique de l'uranium, qui permettent de réaliser des cœurs de réacteurs plus compacts et d'utiliser de l'eau ordinaire comme refroidisseur, restent encore inexplorées en France. Pour le modérateur qui ralentit les neutrons de la fission, deux options sont étudiées : l'eau lourde (eau dans laquelle l'hydrogène est remplacée par le deutérium) comme pour la pile Zoé ou EL2, ou le graphite de très haute pureté. Finalement, le graphite, plus économique que l'eau lourde, sera retenu. Pechiney a en effet réussi, sous la responsabilité de Jules Guéron, à élaborer du graphite de haute pureté dans son usine de Chedde (Haute-Savoie). Enfin, après la mise au point d'EL2, le choix d'un fluide caloporteur pour véhiculer la chaleur produite se porte sur le gaz carbonique. Aussi, en 1952, dans le cadre du plan quinquennal 1952-1957, le CEA, fort des recherches et des expériences menées sur les deux piles précédentes, est suffisamment avancé pour passer au stade industriel. Un programme d'étude s'engage pour la construction de trois réacteurs plutonigènes à Marcoule G1, G2, G3, qui seront des réacteurs avec de l'uranium naturel métallique comme combustible, du graphite comme modérateur et du $CO_2$ comme caloporteur.

**33** : La centrale EDF de Chinon.
**34** : Travaux pratiques à l'INSTN.
**35** : Le général de Gaulle à Pierrelatte, 1963.
**36** : La pile expérimentale Aquilon à Saclay.
**37** : Télémanipulation au Laboratoire d'examen des combustibles irradiés (LECI).

Les structures du CEA s'adaptent aux nouveaux défis du plan quinquennal de 1952 : le développement de la filière graphite-gaz et la poursuite de l'exploration de nouvelles filières. En 1952 est créé le département des études de piles atomiques (rebaptisé en 1959 en direction de la physique et des piles atomiques, puis en direction des piles atomiques) sous l'autorité du physicien Jacques Yvon, dont la mission est « *de rassembler et de coordonner les données scientifiques et techniques relatives aux piles existantes, d'effectuer des expériences dans les domaines de la physique fondamentale et appliquée intéressant la technique des piles, de diriger l'établissement des avant-projets ou projets de piles, et de jouer le rôle de conseil pour la construction des piles industrielles* ». Ce département comprend alors le fameux service de physique mathématique, qui, sous la direction de Jules Horowitz, développe la physique des réacteurs, un service des études mécaniques qui étudie l'architecture des piles et effectue les études et les essais des mécanismes spécifiques des réacteurs, et un service de neutronique expérimentale.

C'est au sein de ce département où règnent les grands physiciens que s'élabore la recherche de base sur ce qui ne tarde pas à émerger comme la première filière de réacteurs électrogènes. Afin de réaliser la première pile au graphite destinée à la production de plutonium, le CEA met en place, début 1953, une direction industrielle confiée à Pierre Taranger. Sa mission est de préparer la réalisation de la pile sur l'emplacement du nouveau site de Marcoule, dans le Gard, et d'organiser l'intervention des grands groupes industriels pressentis pour son élaboration. À l'occasion de la réalisation de la pile G1, la répartition des rôles entre les différents acteurs qui participeront à la grande aventure nucléaire des années 60 se met en place. Un protocole d'accord est signé avec EDF en mai 1954, prévoyant la mise en œuvre d'une première installation de récupération de l'énergie sur la pile G1. Deux ans plus tard, le 28 septembre 1956, le premier kWh d'origine nucléaire s'élance sur le réseau. Dès 1955, alors que le pays s'engage plus à fond dans l'électronucléaire, la collaboration entre EDF et le CEA se précise. EDF prend en charge la construction de deux centrales associées aux réacteurs G2 et G3, qui divergeront respectivement en 1959 et 1960. Dès 1956, un programme de construction de trois réacteurs est lancé sur le site de Chinon dont la puissance va de 70 MW à 400 MW. Viendront ensuite Saint-Laurent 1 et 2, puis Bugey 1...

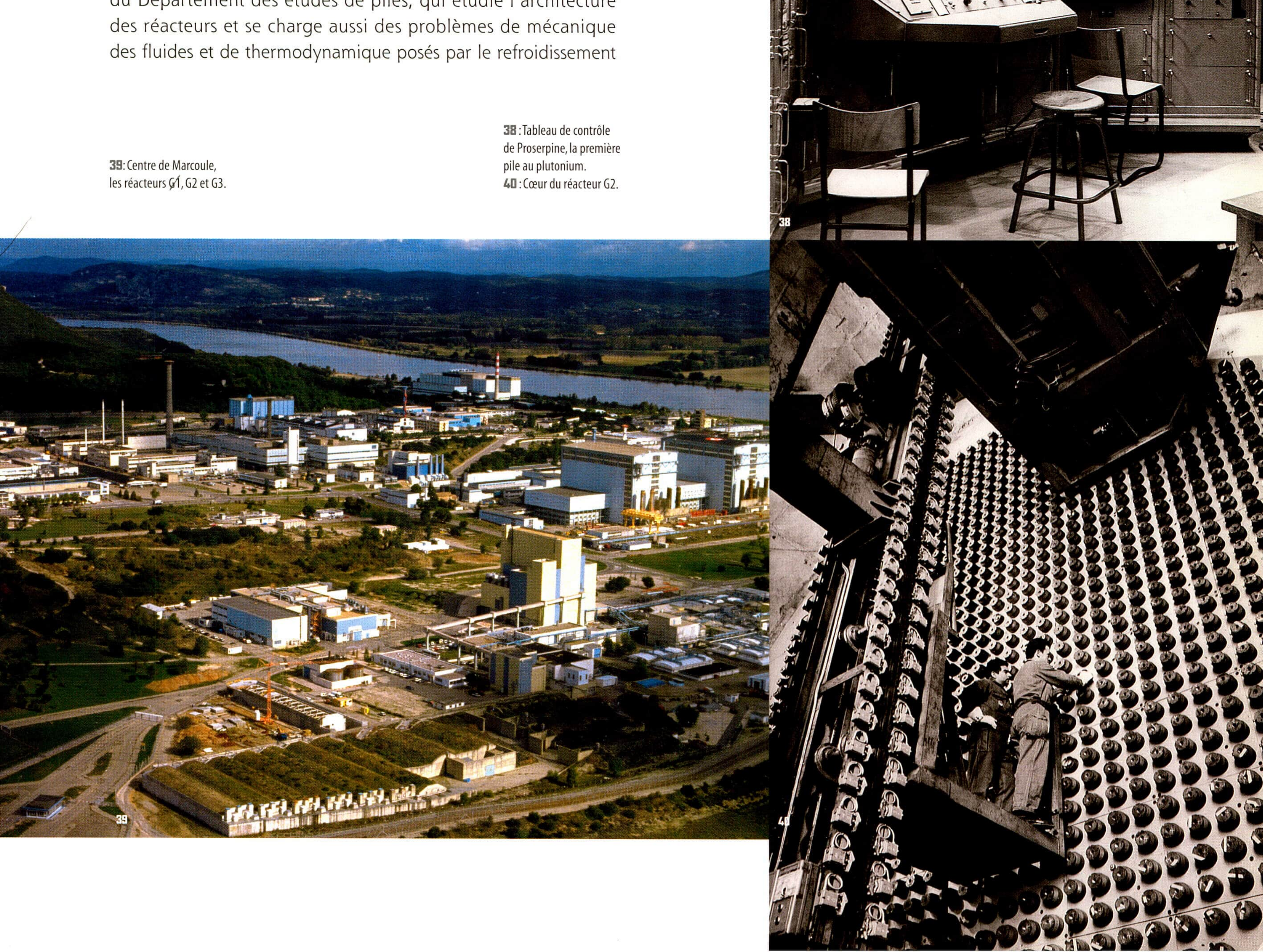
La filière graphite-gaz fait figure de filière électronucléaire nationale. Un point de vue exprimé par Jacques Yvon lui-même : « *La première divergence d'EL2 a eu lieu en présence des plus hautes autorités du CEA. La divergence non moins officielle de G1 a été précédée d'essais, non pas clandestins mais du moins officieux. Pour G2, l'opération a été une affaire de spécialistes réglée par les neutroniciens. La primauté est passée progressivement des physiciens aux ingénieurs*[14]. » Le passage à l'industrialisation de la filière graphite-gaz conduit le CEA à repenser son positionnement. « *Le CEA devient ainsi le conseil et l'associé d'une industrie qui exploite les résultats obtenus par lui et construit des appareils en plus grand nombre* » peut-on lire dans le rapport annuel de 1955. Le temps de l'innovation s'achève, il faut mener désormais une recherche plus appliquée qui vise, avant tout, à améliorer la rentabilité et la sécurité d'une filière en exploitation, tout en assurant le transfert technologique vers l'exploitant. Jules Horowitz, qui succède en 1962 à Jacques Yvon à la direction des piles atomiques, encourage cette ligne de conduite. Un point de vue que résume fort bien Robert Dautray[15] : « *Jules Horowitz attachait la plus grande importance à l'expérience. Au démarrage des grandes centrales, il jugeait que la première priorité était d'atteindre une bonne fiabilité d'exploitation. Ce n'était pas seulement un impératif économique, c'était surtout le seul moyen d'obtenir des résultats de fonctionnement prolongé, pour le combustible comme les autres équipements, résultats indispensables à la démonstration qu'une filière était effectivement éprouvée. C'était le test de la viabilité des concepts et des programmes.* »

À partir de la fin des années 50, le CEA se dote ainsi d'importants moyens d'étude et d'essais destinés d'une part à la filière graphite-gaz et d'autre part à l'exploration des autres filières sur lesquelles les recherches sont menées en parallèle. Saclay voit successivement la construction de réacteurs davantage consacrés à la réalisation d'essais technologiques : EL3, qui diverge en 1958, puis Osiris et sa maquette critique Isis mis en service en 1966. En parallèle, le centre développe aussi ses moyens d'essais en installant, en 1959, le Laboratoire d'examen des combustibles irradiés (LECI). À côté des grandes piles expérimentales, des études poussées de neutronique, notamment pour analyser le comportement des neutrons dans les réacteurs, sont conduites sur des maquettes critiques, gérées à partir de 1959 par une unité spéciale : la Section des expériences critiques. Aquilon, la première pile de ce type mise en route en 1956, est destinée à améliorer la connaissance des données nucléaires pour la filière des réacteurs à l'uranium naturel, modérés à l'eau lourde ou au graphite. D'autres suivent : en 1958, Proserpine, la première pile au plutonium du CEA pour les études de réacteurs de type homogène, où matière fissile et modérateur sont mélangés, puis Alizé en 1959 pour l'étude des réacteurs à eau ordinaire. La réalisation de ces piles est orchestrée par le Service de construction des piles aux compétences multiples et polyvalentes qui sera à l'origine de la création de Framatome en 1972.

Une grande partie de la recherche appliquée effectuée à Saclay porte sur l'étude du comportement du combustible qui constitue l'élément vital d'un réacteur. Il doit assurer la réaction en chaîne et la production de chaleur aussi longtemps que possible alors qu'il est soumis à de fortes et multiples contraintes de températures et gradients thermiques élevés, de flux neutroniques provoquant des dommages à l'échelle cristalline, de corrosion due aux produits de la fission et de l'activation des matériaux sous flux. La recherche sur la conception et la mise en œuvre des combustibles et de leurs matériaux de gainage mobilisent des centaines de personnes à Saclay : neutroniciens, spécialistes de thermohydraulique, métallurgistes ou céramistes... Certaines unités occupent une place majeure dans ces domaines de recherche. C'est le cas du Service des études mécaniques et thermiques (SEMT), du Département des études de piles, qui étudie l'architecture des réacteurs et se charge aussi des problèmes de mécanique des fluides et de thermodynamique posés par le refroidissement

**39** : Centre de Marcoule, les réacteurs G1, G2 et G3.

**38** : Tableau de contrôle de Proserpine, la première pile au plutonium.
**40** : Cœur du réacteur G2.



E – Estimation rapide du rayon critique d'une pile.

Supposons le système de forme sphérique et supposons qu'en principe les seuls neutrons qui s'échappent sont placés dans une couche frontière d'épaisseur M (longueur de migration – grosso modo, cela signifie que les neutrons situés près de la surface s'échappent et que ceux qui naissent à l'intérieur meurent dans la pile. Le rapport du volume frontière au volume total est environ :

M. R

$$\frac{4\pi R^2 M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = 3\left(\frac{M}{R}\right)$$

Si on suppose la naissance des neutrons répartie d'une façon uniforme, cela signifie que le rapport entre les neutrons qui s'échappent et la production totale est environ $\frac{3M}{R}$

Or, nous avons vu que si k est le facteur de reproduction, il s'échappe de l'appareil k – 1 neutrons pour un neutron capturé à l'intérieur.

Il en résulte que le rapport précédent est égal à $\frac{k-1}{k}$. Comme k est voisin de 1, on a sensiblement

$$k - 1 = \frac{3M}{R}$$

Une meilleure approximation est :

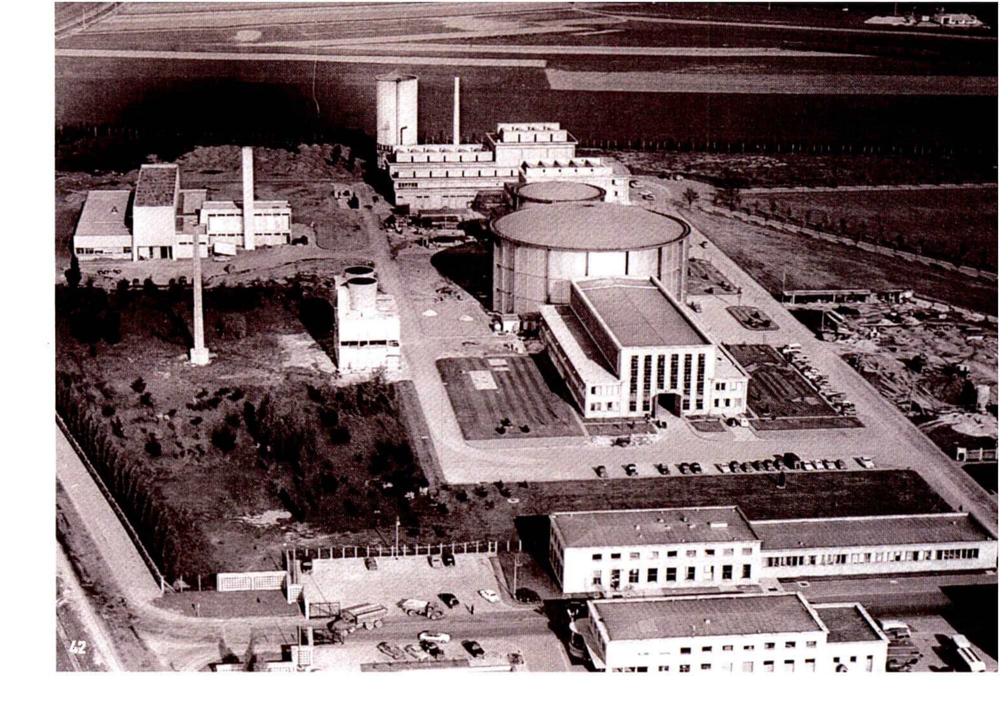
$$k - 1 = c\left(\frac{M}{R}\right)^2 \quad \text{avec } c = \pi^2$$

28)| D'où

$$R = \frac{\pi M}{\sqrt{k-1}}$$

Par exemple : R = 300 cm pour une pile au graphite non refroidie et R = 130 cm " " " à eau lourde refroidie à l'eau.

41



**41** : Notes reportées sur le cahier de laboratoire de Jules Horowitz par Jeanne Horowitz, son épouse, 1946-1947.
**42** : L'enfilade, route des grandes piles EL3, EL2 (ouest/est).

**43 à 46** : Le réacteur EL3.

et la récupération de l'énergie dans ces réacteurs. En son sein, des recherches pointues sont menées sur les empilements de graphite et leur tenue, le gainage et les opérations de déchargement du combustible… Le SEMT réalise même les premiers tests de tenue sismique des empilements sur la première table vibrante, ancêtre de l'installation actuelle Tamaris.

Les services du Département de métallurgie occupent une place importante en recherche appliquée à Saclay. Parmi eux, le Service de chimie des solides étudie des matériaux qui, par leurs propriétés à haute température, sont appelés à être utilisés dans la construction des réacteurs. Les services de technologie créent des prototypes d'éléments combustibles, et étudient pour cela le comportement de l'uranium et de ses alliages ainsi que des métaux utilisables pour le gainage des éléments combustibles. Ces questions concernent aussi le Service de recherche de métallurgie physique qui étudie, entre autres, les phénomènes de diffusion intermétallique jouant un rôle important dans la tenue des éléments combustibles. Des améliorations majeures sont apportées à la filière graphite-gaz. On peut mentionner la mise au point d'alliages performants comme le «sicral», un alliage de silicium et d'aluminium, l'adoption d'une géométrie hexagonale pour refroidir les gaines du bloc réflecteur en graphite ou la conception des ailettes en chevron pour le combustible. Ces deux derniers procédés, qui améliorent considérablement la technologie graphite-gaz, seront appliqués sur les centrales de Saint-Laurent 1 et 2, puis celles de Chinon. Mais pour toute cette série d'essais, le CEA n'est pas seul. *« Saclay travaillait en collaboration très étroite avec EDF et, dans une certaine mesure, en concurrence avec les équipes de R & D qu'EDF avait mises en place au moment où le programme de construction prenait de l'importance »*, rappelle Daniel Bastien. Dans la grande phase d'industrialisation de la filière graphite-gaz, le CEA joue un rôle fondamental, car il dispose de moyens d'essais considérables qui, pour la plupart, ont été conçus à Saclay : les réacteurs expérimentaux et les laboratoires qui leur sont associés, ceux du site lui-même, mais aussi ceux de Grenoble (Siloé) et de Cadarache (Pégase). Ce dernier réacteur, mis en route en 1963, constitue alors un vrai banc d'essai pour l'étude du combustible, UNGG.

[14] Jacques Yvon, *Les Échos du CEA*, numéro spécial anniversaire, octobre 1965.

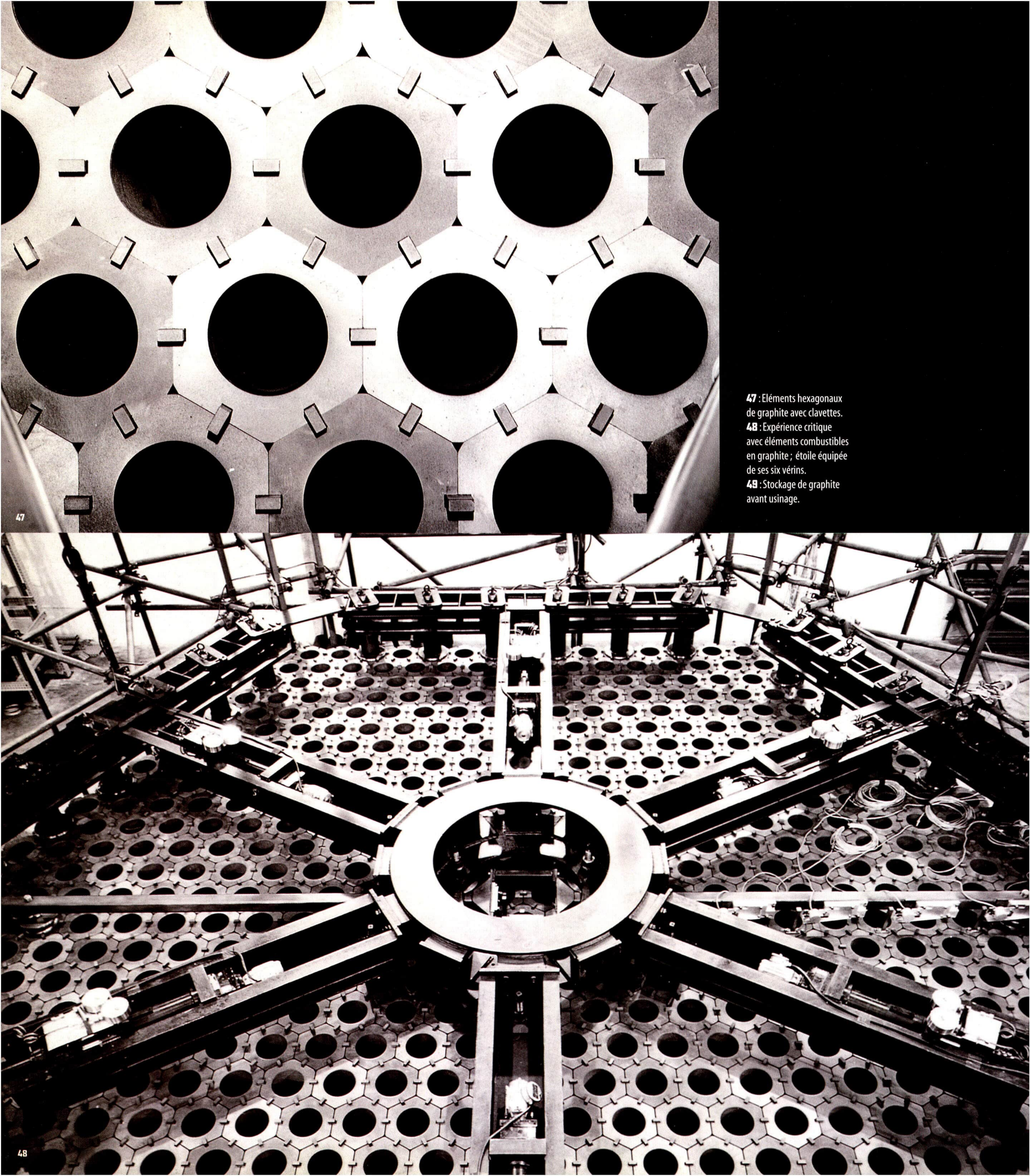
[15] *L'Œuvre de Jules Horowitz,* les grands acteurs du CEA, 1999.

# EL3, une pile expérimentale pour les essais technologiques

Dès le début des années 50, le CEA réfléchit à la création d'un réacteur plus puissant qu'EL2 qui apparaît déjà dépassé. On prévoit donc la construction d'un réacteur piscine d'une puissance de 15 MW ayant un flux de neutrons dix fois plus élevé qu'EL2. *« Ce flux de neutrons très élevé et comparable à celui qui règne au sein des réacteurs de puissance permettra en particulier des études sur les matériaux nécessaires pour la construction de ces réacteurs »*, précise le rapport annuel de 1955, année du démarrage de la construction. Comme la pile précédente, EL3 utilise de l'eau lourde comme modérateur, mais le combustible est de l'uranium légèrement enrichi fourni par la Grande-Bretagne.

Autre innovation pour un réacteur expérimental, la pile est logée dans un bloc de béton cylindrique de 10 mètres de diamètre et de 10 mètres de haut qui constitue une enceinte de sécurité. Au niveau de l'architecture d'ensemble, tout est conçu pour optimiser les recherches. Ainsi à proximité de la grande cloche du réacteur dont l'ossature permet l'installation d'un immense pont roulant pour les multiples manipulations, une autre cloche de plus petite taille est construite, destinée à accueillir les barres irradiées. Inaugurée par Félix Gaillard, le père du programme électronucléaire, alors ministre des Finances, EL3 diverge officiellement le 4 juillet 1957. C'est alors la pile expérimentale la plus puissante d'Europe. Pendant plus de 22 ans de fonctionnement, elle permettra l'étude technologique d'éléments combustibles des filières de réacteurs électronucléaires, la filière à eau lourde, la filière graphite-gaz et la filière à neutrons rapides grâce à un circuit de sodium actif. Elle a également produit de très nombreux radio-isotopes pour l'industrie et la médecine, tant pour la radiothérapie que pour le diagnostic. Enfin, elle a été le centre de très nombreuses recherches fondamentales sur la structure de la matière, grâce à ses faisceaux de neutrons. Ses missions seront poursuivies par les réacteurs Osiris (70 MW) en 1966 et Orphée (14 MW) en 1980. Le réacteur EL3 est, quant à lui, arrêté en 1979.



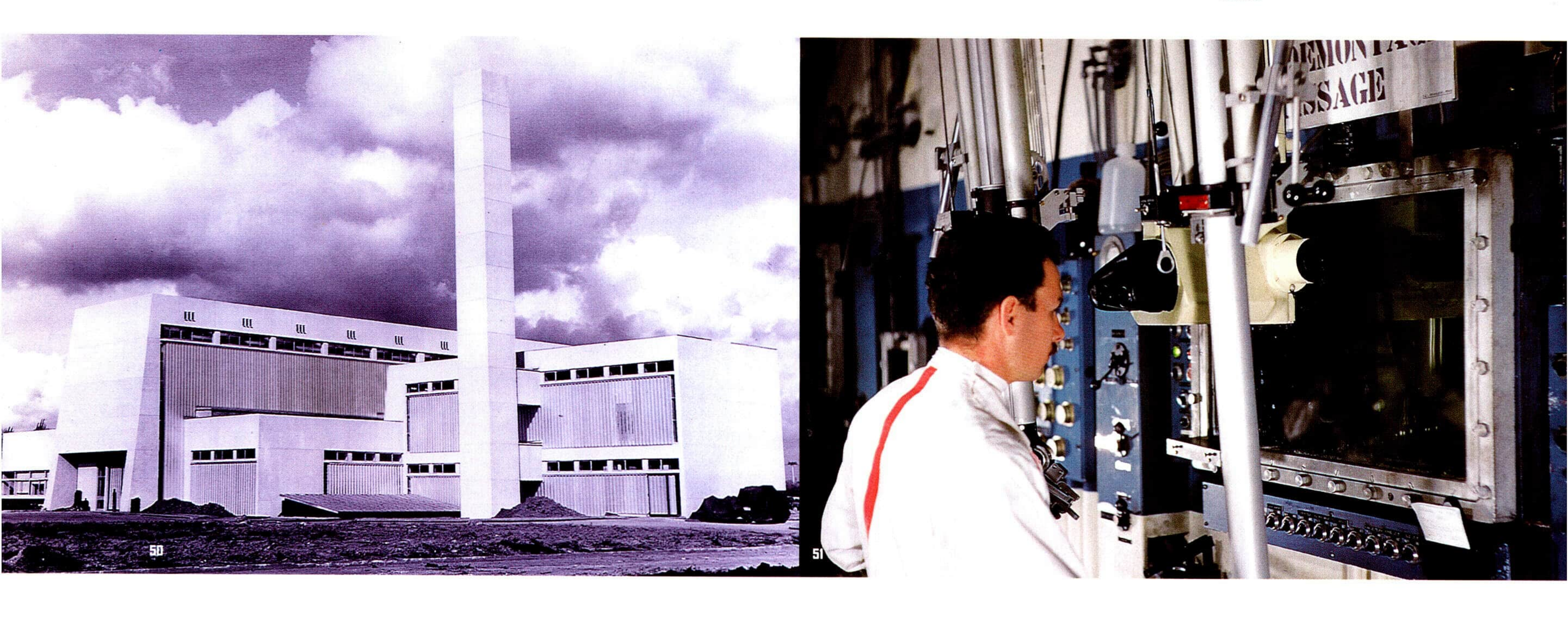



**47** : Eléments hexagonaux de graphite avec clavettes.
**48** : Expérience critique avec éléments combustibles en graphite ; étoile équipée de ses six vérins.
**49** : Stockage de graphite avant usinage.



# Le LECI, un laboratoire au service de l'analyse des combustibles irradiés

**50** : Le bâtiment du LECI avait été conçu pour Fontenay-aux-Roses. Il est l'un des rares à échapper au style Perret.
**51** : Cellule 2, observation de matériaux irradiés.




Le développement de l'énergie atomique repose en grande partie sur la connaissance du comportement des matériaux dans les conditions réelles d'emploi dans les réacteurs en service. Ces études sont aussi indispensables à la mise au point de matériaux nouveaux. Les conditions sévères auxquelles les matériaux sont exposés entraînent souvent une altération profonde de leurs propriétés. Combustibles, gainages, structures sont très radioactifs et doivent être télémanipulés derrière des protections épaisses. C'est pourquoi le CEA a prévu dès les origines la mise en place de laboratoires spécialisés. À Saclay, le premier « laboratoire chaud » est mis en service au début des années 50. Dans ses premières cellules à mur de plomb, on analyse les combustibles sortant d'EL2 et on teste les alliages avec des techniques encore très modestes car la plupart des analyses sont faites au moyen de microscopes optiques ! Pourtant, rapidement, ces moyens d'essai ne suffisent plus devant l'ampleur des études à réaliser. De plus, avec la mise en service d'EL3, les « labos chauds » doivent faire face à des matériaux de radioactivité beaucoup plus élevée.

En 1959, le CEA met en service le Laboratoire d'examen des combustibles irradiés (LECI), qui sera la première unité de ce type en Europe. Sa fonction est de préparer des échantillons à partir d'éléments combustibles et de matériels irradiés, sur lesquels on effectuera divers essais, examens et mesures physiques pour le compte des différents services. Le laboratoire dispose d'installations ultraprotégées et de moyens de manutention puissants pour recevoir les éléments combustibles provenant des réacteurs de Saclay qui, après un séjour en piscine pour une période de refroidissement, sont envoyés au LECI dans des containers en plomb. Les 17 cellules du laboratoire disposées en deux lignes parallèles sont desservies par un pont roulant de 25 tonnes qui permet de décharger les camions apportant les containers ou les hottes spéciales. La première ligne, dont les parois en béton ont un mètre d'épaisseur, peut recevoir des éléments dont la radioactivité atteint jusqu'à 10 000 curies. Elle est destinée surtout aux opérations d'usinage nécessaires à la préparation des échantillons. La seconde ligne, avec ses parois de plomb de 25 cm d'épaisseur, est composée de cellules expérimentales où s'effectuent en priorité les examens métallurgiques et métallographiques. Les opérateurs, placés dans les galeries devant les cellules, disposent de bras télémanipulateurs et observent les combustibles à travers des hublots en verre de plomb et à l'aide de périscopes. *« Ce laboratoire était en perpétuelle évolution pour s'adapter aux besoins du site de Saclay, d'autant que, durant toutes ces années, le matériel de mesure et d'expérimentation n'a cessé d'évoluer. Il s'est révélé un outil particulièrement précieux pour les spécialistes de la métallurgie et des matériaux »*, précise Émile Roussel, ancien responsable du LECI.

## Expérimentations et recherches

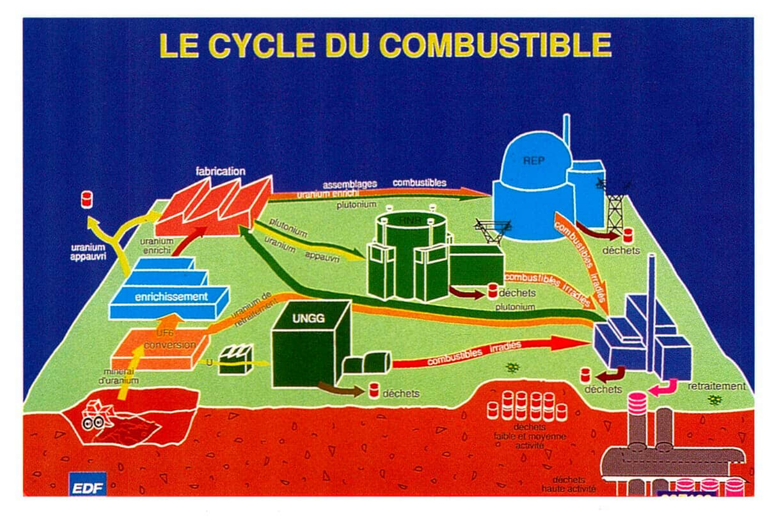
En France comme en Angleterre, la filière graphite-gaz, qui s'impose au début des années 50, présente le double avantage d'être à la fois productrice de plutonium et d'utiliser de l'uranium naturel. En 1955, la conférence de Genève organisée dans le cadre du programme « Atoms for Peace » change la donne. Pour la première fois, toutes les grandes puissances, l'URSS y compris, exposent et confrontent leurs résultats en matière de recherche. Deux ans plus tard est instituée la Communauté européenne de l'énergie atomique, Euratom, qui ouvre la voie à une véritable coopération internationale et rend possible l'accès à de nouvelles technologies nucléaires. Ce nouveau contexte favorable au développement du nucléaire civil donne de fait une impulsion aux autres filières.

Les premières années du centre de Saclay témoignent d'un véritable bouillonnement créateur. Comme dans tous les grands centres de recherche étrangers, on teste toutes sortes de combustibles sous diverses formes, toutes sortes de modérateurs ou de fluides de refroidissement. De cette période d'expérimentation émergeront plusieurs grandes filières nucléaires dont les données de base proviennent pour l'essentiel de Saclay. Le centre s'appuie sur ses maquettes critiques : Proserpine, Alizé, Aquilon... À partir des années 60, ces recherches seront en partie transférées à Cadarache et à Marcoule, où sont installés les réacteurs expérimentaux et les prototypes, notamment pour la filière rapide et la filière à eau.

Sur le plateau de Saclay, cette exploration tous azimuts prospère au sein de la Direction de la physique et des piles atomiques qui conçoit à la fois les modèles théoriques et développe les technologies. Le Service de physique mathématique joue un rôle central. « *L'activité du service s'organisait par filière : graphite-gaz, eau lourde, neutrons rapides, propulsion navale* », précise aujourd'hui Jean-Pierre Schwartz. « *Elle consistait avant tout à réaliser les activités de recherche de base et à établir les moyens de calcul permettant la validation et la conceptualisation de modèles. Notre mission était donc de mettre en place les modèles et les outils théoriques permettant de concevoir des projets et de permettre le dialogue avec les activités mécaniques, technologiques, thermiques et de conception d'éléments combustibles souvent organisés eux-mêmes en sous-ensembles par filière.* » En effet, même si certains départements ou services se consacrent davantage à l'UNGG (uranium naturel – graphite-gaz), la plupart d'entre eux partagent leurs activités entre plusieurs filières. Seul le Département de propulsion nucléaire, qui se consacre exclusivement au réacteur à eau pressurisée, fait l'objet d'un traitement particulier en raison de sa vocation militaire.

De ce foisonnement émergent quelques filières qui donneront lieu à des prototypes sans forcément faire l'objet, en France, d'un véritable développement industriel. C'est le cas de la filière dite à haute température, développée à partir de 1959 dans le cadre du projet européen Dragon, qui fonctionne avec de l'uranium enrichi comme combustible, du graphite comme modérateur et de l'hélium comme fluide de refroidissement. Les études menées sur la filière à eau lourde iront plus loin en raison notamment des connaissances acquises sur les piles EL2 et EL3. « *Il y avait,* racontent certains, *un courant très favorable à cette filière* » dans laquelle le combustible peut être de l'uranium naturel ou légèrement enrichi, le modérateur et le caloporteur de l'eau lourde, de l'eau ordinaire ou du gaz. En 1966, cette dernière est amenée par EDF au stade du prototype industriel EL4 sur le site breton de Brennilis, au cœur des monts d'Arrée. Mais le choix d'un gainage en béryllium, qui gonfle sous bombardement neutronique, se révèle un échec. Il faut passer à un uranium largement enrichi qui enlève de son intérêt à cette technologie.

Deux autres filières, celle des réacteurs à neutrons rapides ou surgénérateurs et celle des réacteurs à eau pressurisée, font l'objet d'une attention particulière. La première naît du souci d'utiliser pleinement les potentialités de l'uranium. Les réacteurs à neutrons rapides, ou surgénérateurs, permettent d'obtenir un rendement optimal de l'uranium. D'une part, ils utilisent directement de l'uranium naturel et, d'autre part, en transformant l'uranium 238 en plutonium, ils rendent fissiles une part importante de l'uranium non-utilisé dans des réacteurs classiques. La quantité de matière fissile produite est supérieure à la quantité consommée.



# Osiris, le plus gros réacteur à cœur ouvert

Le réacteur Osiris est le plus puissant réacteur piscine à cœur ouvert du monde. Lorsque les études de sa conception débutent dans les années 60, elles s'appuient sur l'expérience acquise sur les premiers réacteurs piscines construits à Fontenay-aux-Roses, Grenoble et Cadarache. Pour répondre aux énormes besoins des secteurs de recherche qui se consacrent aux essais de matériaux, le CEA décide de construire un réacteur entièrement dédié à l'irradiation de matériaux de structure et d'éléments combustibles de centrales nucléaires afin d'étudier leurs comportements. Le réacteur, d'une puissance thermique initiale de 50 MW, est adossé à une maquette critique Isis, où toutes les expériences sont contrôlées. Des dispositifs sont conçus pour reproduire les conditions de fonctionnement des réacteurs de puissance. L'instrumentation est adaptée à chaque sorte d'échantillon en fonction des besoins. Selon les témoins de l'époque, Osiris marque *« l'ère de maturité des réacteurs d'essais de matériaux du CEA »*.

Osiris est officiellement inauguré le 8 septembre 1966, en présence du ministre d'État Alain Peyrefitte. Il doit son nom à un événement historique : à la suite d'un voyage en Égypte où il avait été invité par le ministre égyptien de la Culture, Jean Debiesse, directeur du centre de Saclay, donne au nouveau réacteur le nom d'Osiris. Le parrain est Francis Perrin et la marraine l'égyptologue Christiane Desroches-Noblecourt, qui avait accompagné la visite.

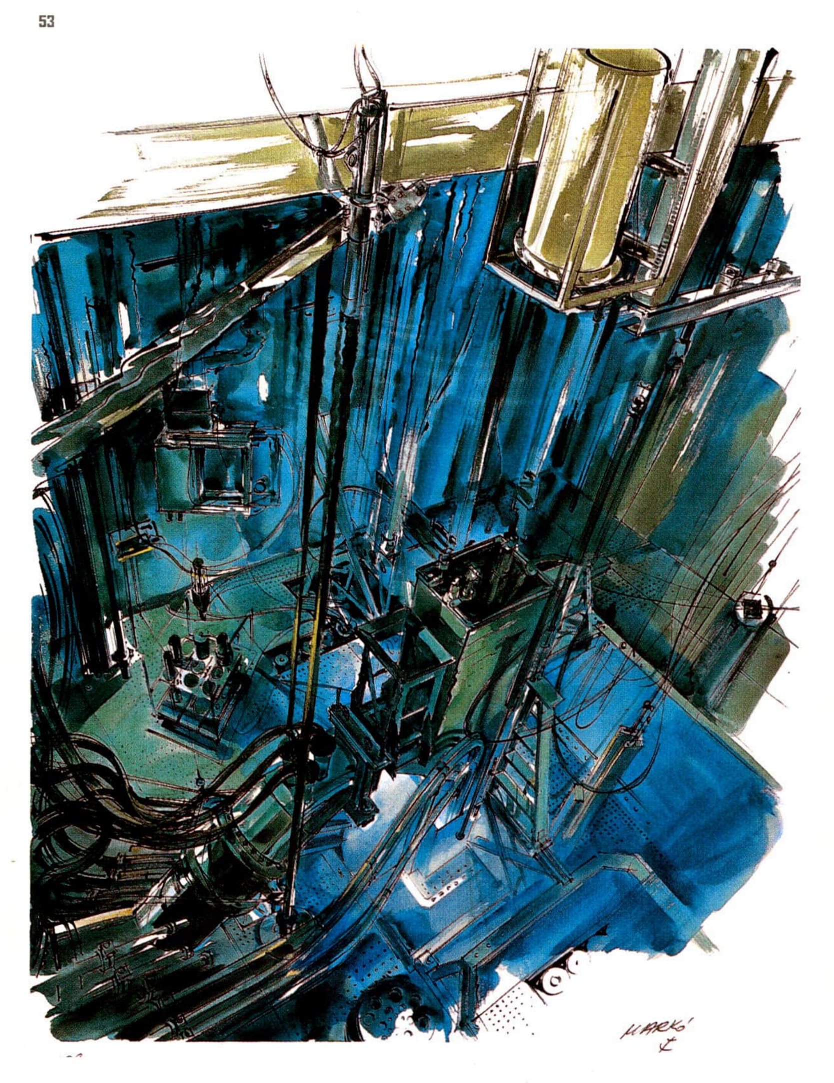
En 1968, la puissance du réacteur piscine est portée à 70 MW à la demande des utilisateurs. Depuis, Osiris a été constamment amélioré et reste l'un des réacteurs de recherche les plus performants du monde après 35 ans de bons et loyaux services. Plus d'une centaine de personnes travaillent tant à l'exploitation de l'installation qu'à la réalisation et le suivi des expériences. Le réacteur Jules Horowitz, qui sera construit à Cadarache, lui succédera dans la prochaine décennie.

**52 a, b** : Le centre de Saclay avait offert au laboratoire du Musée du Caire un dispositif d'analyses par le carbone 14. En retour, le Président de l'organisation des antiquités égyptiennes, le Docteur Gamal Mokhtar, offrit, pour la décoration du hall d'Osiris, trois copies de fresques de tombeaux royaux. Les deux fresques ci-dessous proviennent du tombeau de la reine Néfertari. Elles évoquent la défunte reine "en Osiris", l'une pénétrant dans la nécropole et l'autre l'ultime aspect de la reine avant sa réapparition solaire à l'horizon.

52a



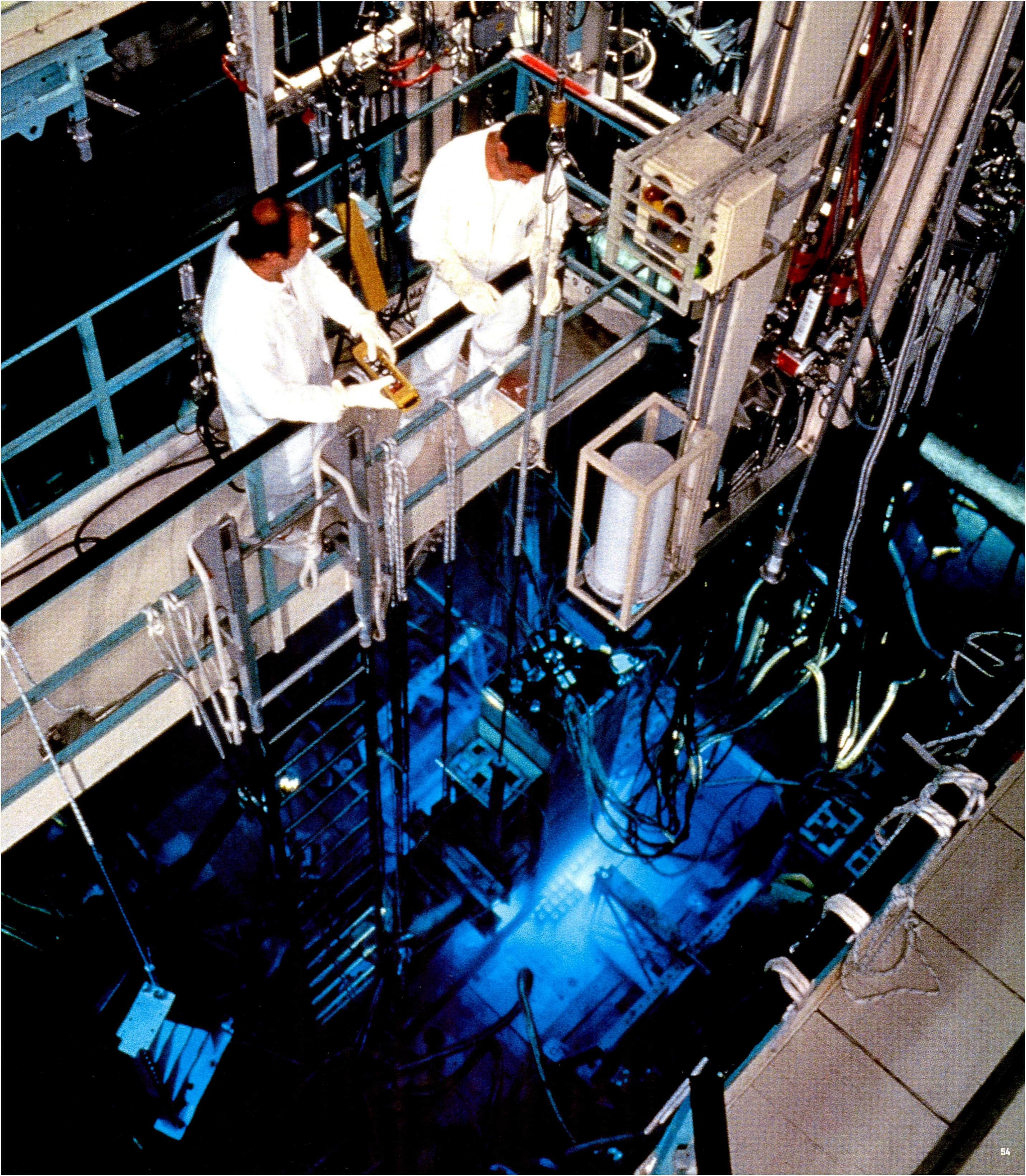
53

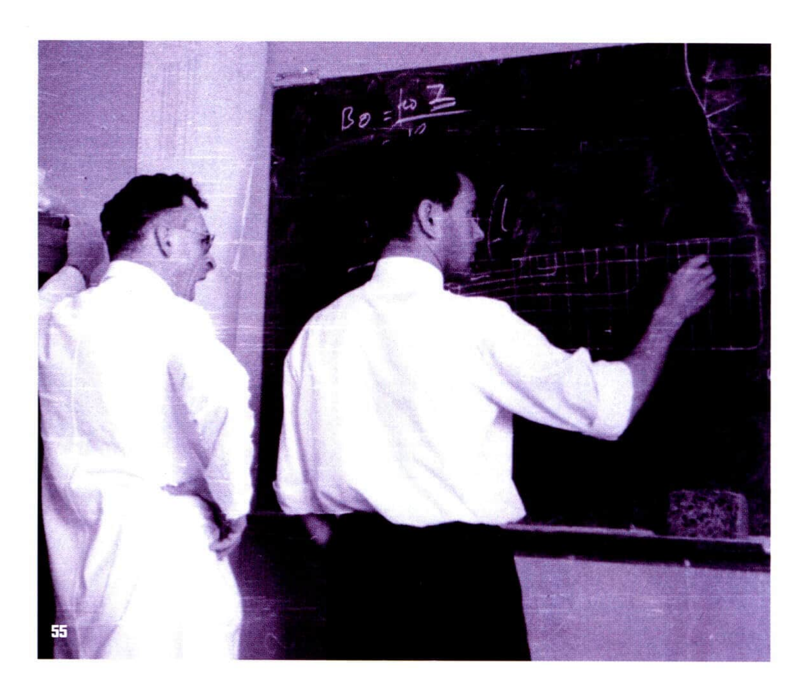


**53** : Le réacteur Osiris dessiné par Markó, peintre de la Marine.
**54** : Osiris, piscine du réacteur.

52b







**55** : Département d'électronique à Saclay en 1961. Deux jeunes ingénieurs René Mérard et Jean Bliaux au tableau noir.

Le premier réacteur prototype à neutrons rapides, EBR 1, a divergé à Los Alamos aux États-Unis en 1951. En France, on débute les études à Saclay. Jean-Louis Campan fournit les premiers résultats de validation de la physique des cœurs rapides tandis que Louis Vautrey, un ancien de Zoé, met au point une pompe électromagnétique de sodium, le réfrigérant choisi. Enfin, un nouveau type de combustible, constitué d'aiguilles contenant des pastilles d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium, est choisi grâce aux travaux du département du plutonium dirigé par Emmanuel Grison.

En 1959, l'équipe de Georges Vendryes, entré en 1951 comme chef de la Section de neutronique expérimentale et qui sera l'artisan de la filière des rapides, présente à Francis Perrin le projet d'un premier réacteur à neutrons rapides de 25 MW, Rapsodie. Les recherches menées par la section d'études de piles rapides à Saclay et soutenues par Euratom aboutissent en 1967 à la divergence de la pile Rapsodie à Cadarache. À partir de cette date, l'histoire de la filière rapide s'effectue un peu en marge de Saclay. Cadarache devient le haut lieu de la physique des réacteurs rapides et regroupera la plus grande partie des moyens d'études autour des réacteurs expérimentaux Masurca, Harmonie et Rapsodie. Ces recherches aboutiront à la construction de la centrale Phénix exploitée par EDF à partir de 1973, puis à celle de Superphénix qui diverge en 1986, avant d'être arrêtée par le gouvernement en 1997.

L'origine de la filière à eau pressurisée remonte au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, quand l'Atomic Energy Commission américaine confie à l'amiral Hyman Rickover le soin d'étudier et de réaliser un réacteur refroidi par une circulation d'eau à haute pression, destiné à la propulsion sous-marine. Le 30 mars 1953, le premier réacteur à eau sous pression (REP), en anglais *Pressurized Water Reactor* (PWR), diverge à Arco dans l'État d'Idaho. Après quelques modifications, le prototype vient équiper le *Nautilus*, premier sous-marin à propulsion nucléaire mis en service le 17 janvier 1955. Ce jour-là, il émet son message resté célèbre « *Underway on nuclear power* ». Fortement impressionné par le lancement du *Nautilus*, le gouvernement français décide la construction d'un sous-marin atomique. Faute d'uranium enrichi et soucieux d'optimiser les recherches sur la filière française, un groupe d'experts, sous la conduite de l'ingénieur général Roger Brard, commence par envisager la construction d'un navire submersible équipé d'un réacteur du type uranium naturel - eau lourde. Mais le projet baptisé Q244 se révèle une impasse car les ingénieurs sont confrontés à un problème majeur : la difficulté de miniaturiser le réacteur.

Le projet évolue vers la construction d'un réacteur prototype à terre utilisant, cette fois, de l'uranium enrichi que les Américains acceptent de livrer en petite quantité en 1958. Une équipe mixte marine/CEA se constitue alors sous la direction de Jacques Chevallier et de Jean-Louis Andrieu. À Saclay, le Groupe de propulsion nucléaire dirigé par Jacques Chevallier se charge des études pour la réalisation du premier prototype à terre (PAT) de réacteur à eau pressurisée. En 1962 démarre Azur, une première maquette critique du prototype installé à Cadarache. Puis, les équipes du CEA font diverger en 1964 le PAT qui équipera en 1967 le *Redoutable*, premier des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) de la flotte française. Ce Groupe de propulsion navale bénéficie pleinement des appuis scientifiques et techniques de Saclay, les études étant concentrées à Cadarache. Par ailleurs, son activité étant considérée comme confidentielle, il ne bénéficie d'aucune publicité tant à l'extérieur qu'à l'intérieur du CEA. Il faut dire qu'à cette période la filière graphite-gaz reste encore la filière incontestée avec la filière rapide, qui constitue pour les équipes un superbe défi technologique.

Mais la filière utilisant de l'uranium enrichi comme combustible et de l'eau ordinaire comme modérateur et caloporteur séduit les industriels par sa simplicité. Dans la foulée d'Euratom puis de la construction à Mol en Belgique par Westinghouse de BR3, un réacteur de démonstration présenté à l'exposition universelle de Bruxelles en 1958, les électriciens français et belges se sont entendus

pour construire à partir de 1960 une première centrale à eau pressurisée à Chooz, dans les Ardennes, qui sera mise en service en 1968. Pour réaliser ce projet, un accord entre les groupes Schneider et Empain, associés notamment à Merlin Gérin, aboutit en 1958 à la création de la société franco-américaine de constructions atomiques, plus connue sous le nom de Framatome, une entreprise chargée d'exploiter la licence Westinghouse de réacteur à eau pressurisée. Cette réalisation ne remet pas encore en cause le choix technologique en faveur de la filière française. Elle s'inscrit simplement dans une politique de diversification des filières, voulue par les pouvoirs publics et EDF, dans la perspective d'explorer les possibilités ouvertes par la maîtrise de la technologie de l'enrichissement de l'uranium, qui commence à changer quelque peu la donne.




**56** : Lancement du premier sous-marin français à propulsion nucléaire, Cherbourg 29 mars 1967.

**57** : Les vingt ans du CEA. De gauche à droite : Yves La Prairie, Jean Labussière, Bertrand Goldschmidt, Jacques Descombes, Maurice Pascal, Général Buchalet, Pierre Billaud, Jacques Robert, Anatole Abragam, Jacques Chevallier.

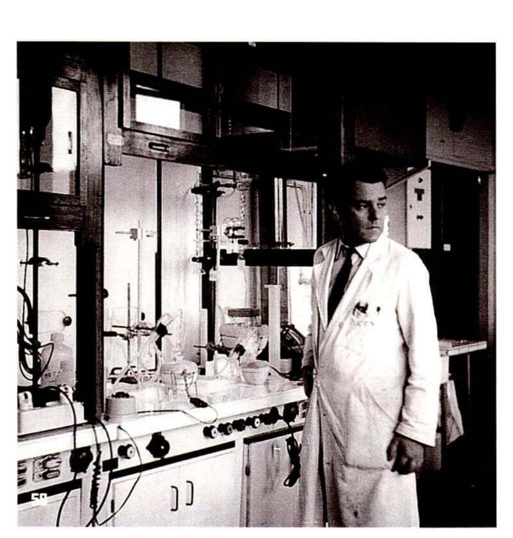
57

# Les études sur la séparation de l'uranium

À ses débuts, le CEA laisse de côté les recherches sur l'enrichissement isotopique de l'uranium et concentre ses efforts sur des filières nucléaires exploitant l'uranium naturel. Il hésite à se lancer dans une technologie délicate. Par ailleurs, l'enrichissement à des fins civiles semble exiger des moyens industriels de séparation isotopique lourds et onéreux, hors de portée en cette période de reconstruction. Mais l'uranium naturel, certes moins coûteux, nécessite de grosses quantités de combustible et conduit à des réacteurs de très grande taille. Rapidement, l'uranium enrichi s'avère indispensable pour réaliser des armes thermonucléaires et un réacteur pour sous-marin. Les premières études françaises sur la séparation isotopique de l'uranium débutent en 1953 au laboratoire national des poudres, sous l'impulsion de l'ingénieur général Fauveau. À cette époque, les recherches concernent deux procédés de séparation susceptibles d'être développés : l'ultracentrifugation et la diffusion gazeuse. Le choix se porte *in fine* sur le procédé de diffusion gazeuse, capable d'être industrialisé plus rapidement.

Le principe consiste à faire passer de l'uranium sous forme gazeuse, l'hexafluorure d'uranium, à travers des barrières poreuses. Les molécules contenant l'isotope $^{235}U$, plus légers, migrant plus vite que celles contenant l'isotope $^{238}U$, on parvient, par étapes, à augmenter progressivement la proportion de $^{235}U$ contenue dans le gaz et à produire un combustible enrichi. Mais il faut répéter l'opération un grand nombre de fois à travers des barrières disposées en série, dans les diffuseurs installés en cascade. À partir de 1955, les recherches sont transférées au CEA qui crée un Bureau des études industrielles rattaché à la direction industrielle en vue de construire à Saclay des laboratoires et un hall d'essai. La même année est créée la Société de recherches techniques et industrielles (SRTI), filiale d'Ugine Kuhlmann, de la société Rateau, et de la CSF pour l'expérimentation industrielle de certains matériels et l'exploitation des installations.

Les « poudriers », comme on les appelle à l'époque, poursuivent désormais activement leurs recherches à Saclay. Pierre Plurien, Gaspard Dreyfus et Oleg Bilous supervisent respectivement les études sur les barrières, les compresseurs et les spectromètres de masse et enfin les cascades. Robert Dautray travaille avec eux sur la modélisation, l'étude et le contrôle de l'écoulement aérodynamique du gaz, tandis que Claude Fréjacques rejoint Saclay

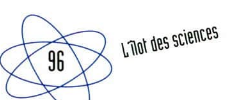




**58** : Un technicien chimiste prépare les échantillons d'UF 6.

**59** : Pastille de combustible.

**60** : Après isolement de l'uranium, un traitement chimique le précipite sous forme d'une poudre jaune : « Yellow cake ».



où il prend la direction du Service des études sur l'enrichissement de l'uranium avant d'être nommé chef du Département de physico-chimie du CEA. La décision est prise d'étudier une installation pilote PS1, qui sera construite à Saclay. La commande est passée à la SRTI et la construction de cette installation démarre le 31 décembre.

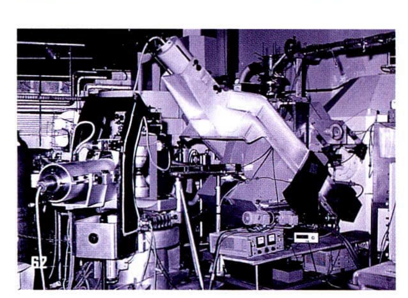
En 1958, alors que les premières négociations engagées deux ans plus tôt dans le cadre d'Euratom sur la construction d'une usine européenne d'enrichissement ont échoué, le gouvernement du général de Gaulle prend la décision de construire seul une usine d'enrichissement, considérée comme indispensable pour garantir l'indépendance nationale dans le domaine militaire puisqu'il s'agit alors de la première destination de l'uranium enrichi. Un site est choisi à Pierrelatte, dans la Drôme. Claude Fréjacques supervise les études à Saclay, tandis que Georges Besse prend la responsabilité de la partie industrielle du projet avec Robert Galley à la tête du Bureau des études industrielles. À ce stade, les équipes du CEA, de la SRTI et d'USSI nouent une liaison étroite entre études, développement et exploitation qui conduit rapidement au choix des principales options techniques du futur pilote industriel. C'est dans cette perspective qu'un nouveau pilote de caractérisation des barrières, PC2, est construit à Saclay.

60

L'aménagement du site de Pierrelatte débute en 1960. En décembre 1962, le premier pilote PP1 de douze étages, préfiguration de l'usine basse, est démarré avec succès. Les mises en service des pilotes des usines moyenne, haute et très haute précédent de peu les usines elles-mêmes. L'usine basse, quant à elle, démarre en 1964. Le premier lingot d'uranium enrichi à 2 % est remis en janvier 1965 à Gaston Palewski, ministre de la Recherche. En 1967, l'usine « très haute » de Pierrelatte produira de l'uranium très enrichi. En dépit de ces succès s'ouvre une période difficile, qualifiée par les acteurs eux-mêmes de « traversée du désert », durant laquelle la possibilité de construire une usine d'enrichissement à vocation civile est encore incertaine, le lancement de ce projet étant soumis au devenir des filières nucléaires. Les incertitudes se lèvent quand en 1969 la filière graphite-gaz, principale filière fonctionnant à l'uranium naturel, est définitivement abandonnée au profit de filières utilisant de l'uranium enrichi. Dès lors, le vaste programme qui aboutira à la création d'Eurodif est amorcé.

Malgré le succès industriel du procédé de diffusion gazeuse, des études sur d'autres procédés se poursuivent en parallèle. Le CEA s'intéresse ainsi au procédé d'enrichissement Chemex, fondé sur les différences de réactivité entre deux sels d'uranium en solution. Ce procédé connaît une gloire éphémère à la fin des années 70, car on lui prête la qualité d'être peu proliférant. Des recherches sont aussi menées sur l'ultracentrifugation, un procédé qui exploite la différence de comportements des isotopes lourds et légers soumis au champ d'accélération centrifuge régnant dans un cylindre tournant autour de son axe avec une très forte vitesse angulaire constante. Ces recherches placées, à l'époque, sous la responsabilité de Louis Bourgain, seront abandonnées au début des années 80 ainsi que les recherches sur le procédé Chemex. Elles cèderont la place à une technologie jugée plus prometteuse, SILVA (Sépartion isotopique par laser de la vapeur atomique).

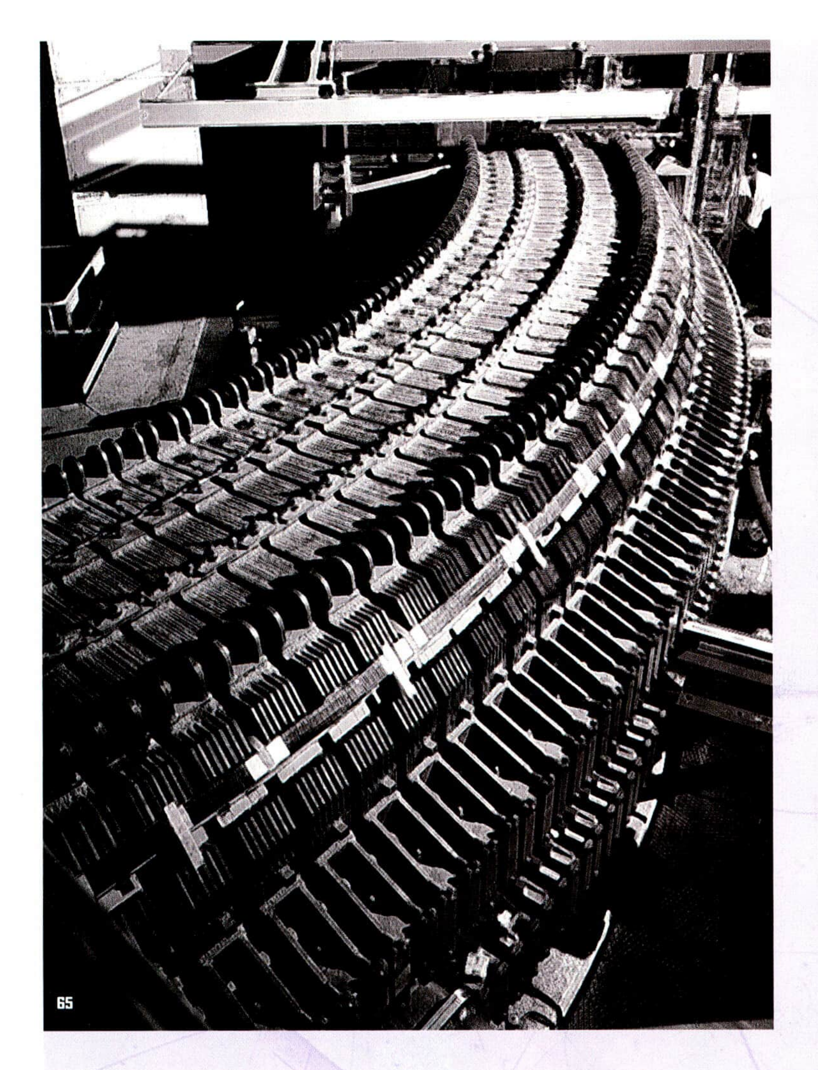
# DES ATOMES AU VIVANT











# « De la physique avant toute chose »[1]

Parallèlement aux études engagées sur la structure de la matière, les premiers travaux de recherche fondamentale débutés en physique nucléaire sont réalisés en liaison très étroite avec la technologie des réacteurs. Le service de physique mathématique, créé au moment de la divergence de la première pile, restera longtemps au cœur de ce dispositif. Pendant plusieurs années, les physiciens, Jacques Yvon et Jules Horowitz en tête, mèneront de front des travaux de physique pure et des calculs de pile. Leur attention se porte en priorité vers la neutronique qui permet de comprendre le fonctionnement intime des réacteurs nucléaires sous l'angle de la multiplication des neutrons, de l'établissement et du contrôle de la réaction en chaîne. Dès le départ, leur priorité est d'appuyer la neutronique sur une large base expérimentale et Saclay sera le lieu de toutes ces expérimentations…

Aux côtés du service de physique mathématique est créé le service de neutronique expérimentale, dont la première activité fut de mesurer la section efficace de fission de l'uranium 235. Des moyens importants sont déployés pour répondre aux besoins de données physiques nécessaires au calcul des réacteurs. Des outils spécifiques, comme les spectromètres, sont installés sur les faisceaux de neutrons sortis de la pile EL2, puis d'EL3. Les premiers résultats obtenus sur les mesures de sections efficaces des isotopes de l'uranium et du plutonium sont présentés à la conférence de Genève. Jean Bussac[16] raconte que *« les résultats obtenus par deux méthodes et deux équipes différentes* (Georges Vendryes et Pierre Hubert avec un spectromètre de cristal et Francis Netter avec un chopper) *firent l'objet d'une publication annoncée lors de la première conférence internationale de Genève en 1955, entraînant les pays étrangers à dévoiler leurs propres mesures qui s'accordaient bien avec nos mesures ».*

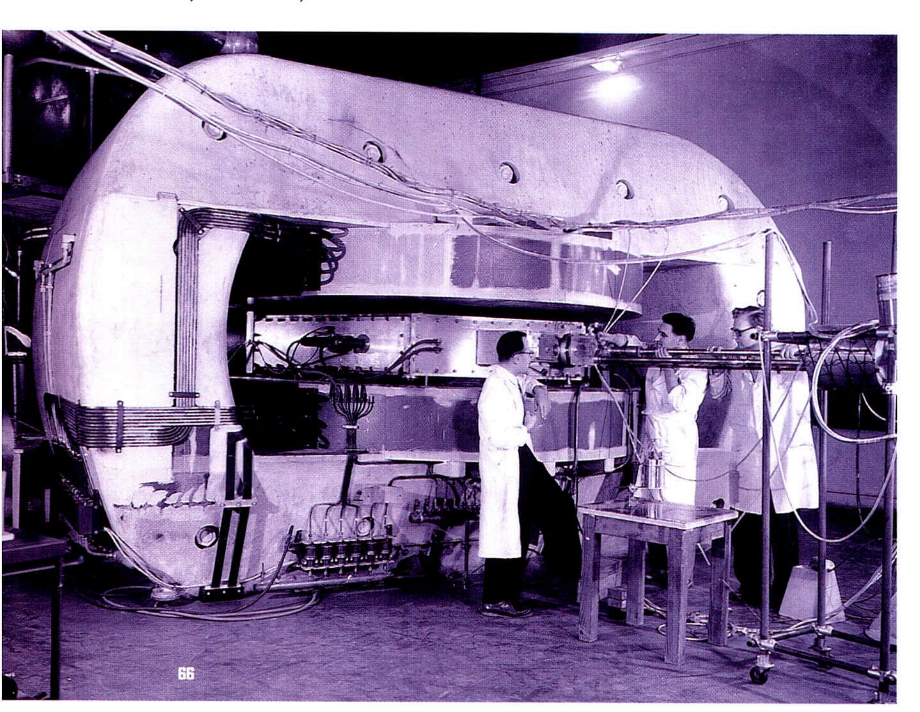
**61** : Le docteur Pierre Fallot procède à l'un des premiers examens de la thyroïde dans les casemates du fort de Châtillon.
**62** : Dispositif d'études dans la pile EL3.
**63** : Jean Coursaget et des responsables du Service de biologie lors de l'inauguration du Service hospitalier Frédéric Joliot, le 9 avril 1959.
**64** : Listings informatiques des années 60.
**65** : Synchrotron Saturne, anneau principal.

[1] Titre de la biographie d'Anatole Abragam, Odile Jacob, 2000.

La levée partielle du secret atomique, puis l'élan donné en France par le lancement des premières centrales, donnent une impulsion décisive à la physique nucléaire. De nombreuses études neutroniques sont réalisées sur les maquettes critiques dont celle de Saclay, tandis que le démarrage des premières centrales, G1 et G2, fournit l'occasion de lancer de grandes campagnes d'essais neutroniques. Le centre de Saclay se dote en 1958 d'un accélérateur linéaire d'électrons[17] de 28 MeV dont l'énergie sera portée à 45 MeV, puis à 60 MeV en 1969. Ces faisceaux produisent des neutrons de haute énergie qui donneront accès à des données neutroniques des plus précises concernant la fission des isotopes fissibles. *« Les améliorations des techniques expérimentales ont alors permis deux découvertes cruciales, mondialement reconnues, d'abord la mise en évidence de l'existence d'un second puits de la barrière de fission et ensuite l'observation d'états hyperdéformés dans les isotopes du thorium, dont l'existence nécessite un troisième puits de la barrière de fission »*, observe Pierre-Jean Carlos[18].

À la même époque et grâce à l'influence déterminante de Jules Horowitz, une série de codes de calcul et de modèles mathématiques est élaborée dans le but d'analyser les résultats expérimentaux et de décrire les propriétés fondamentales de la matière. Cet ensemble de modèles et de méthodes permet d'appréhender des phénomènes complexes alors que l'on ne peut pas encore s'appuyer sur une informatique puissante pour gérer d'innombrables données tenant compte de multiples conditions et variables. À titre d'exemple, Jean Bussac cite le modèle secondaire de la thermalisation dû à Horowitz et Cadilhac, la méthode Amouyal-Benoist- Horowitz pour calculer le facteur d'utilisation thermique, les modèles d'absorption de résonance (Michel Livolant). De cette époque datent aussi les méthodes dites « à plusieurs groupes de neutrons ». Ces modèles ont permis l'élaboration de modèles de calcul pour les réacteurs à graphite (François Cogné), à eau lourde (Roger Naudet et Marcel Chabrillac) et à eau ordinaire (Roger Delayre). De même, le domaine expérimental offrait un champ propice à la modélisation. On peut, par exemple, citer les neutrons pulsés sur des ensembles multiplicateurs ou les perfectionnements apportés par Oleg Tretiakoff (avec René Vidal et Bernard Laponche) aux méthodes d'oscillation permettant d'interpréter avec une grande finesse les mesures d'effets en réactivité d'échantillons. Émerge également une méthode dite « de substitution progressive » pour optimiser les études réalisées sur les maquettes critiques.

**66** : Préparation d'expériences sur le cyclotron de Saclay.



En quelques années, le CEA acquiert de solides compétences en physique nucléaire et en neutronique, des disciplines qui deviennent des activités phares de Saclay. À partir des années 50, au moment du lancement du programme nucléaire, le transfert de connaissances s'organise vers les partenaires industriels et EDF, via les premiers cours de génie atomique commencés en 1954, puis par l'INSTN à partir de 1956 ou grâce aux cours prodigués par certains grands chercheurs de Saclay au Conservatoire national des arts et métiers (CNAM). Le développement de l'industrie nucléaire doit ainsi beaucoup à la diffusion des solides connaissances théoriques acquises durant les premières années de Saclay. *« On peut dire que pratiquement tous les neutroniciens, dont certains ont pris, par la suite, des postes clés dans le développement de l'énergie nucléaire en France, ont été formés dans le même moule à partir d'une équipe de chercheurs qui, entraînés par Jacques Yvon et Jules Horowitz, ont constitué ou développé au fil des années un corpus de méthodes, une "école française" en physique des réacteurs[19]. »*

[16] Jean Bussac, « Le rôle du CEA dans les premiers développements de la neutronique », *Actes du colloque du 50e anniversaire du CEA.*

[17] Localisé derrière le bâtiment du Van de Graaff.

[18] Pierre-Jean Carlos, « De la neutronique fondamentale à la structure du noyau », *Actes du colloque du 50e anniversaire du CEA.*

[19] Jean Bussac, « Le rôle du CEA dans les premiers développements de la neutronique », *Actes du colloque du 50e anniversaire du CEA.*

# L'autonomisation de la physique

Au début des années 50, les études de physique concernent principalement les réacteurs. Toutes les activités sont donc regroupées au sein de la Direction de la physique et des piles atomiques. Même si une partie de la recherche fondamentale s'est déjà nettement détachée des applications pour s'étendre vers le domaine nouveau de physique corpusculaire à haute énergie. En 1960, on retrouve au sein de la Direction des piles atomiques : le Département des études de piles, le Département de recherche physique, un Département d'électronique, un Service de physique appliquée, le Groupe de propulsion navale, le Groupe de propulsion nucléaire, le Groupe de travail de sûreté des piles, le Département du synchrotron autour duquel se déroulent les travaux en physique des particules, et le Département de physique nucléaire et de physique du solide où sont menées les premières études sur la résonance magnétique. Au CEA, la physique des particules se structure davantage à partir du début des années 60 autour du Service de physique théorique, dirigé par Claude Bloch. *« La physique des particules remonte aux années 60, avec la parution d'un rapport collectif de Jacques Bros, Marcel Froissart, Roland Omnes et Raymond Stora et, avec en 1963, la création du Service de physique théorique par Claude Bloch »*, explique Jean Zinn-Justin[20].

En 1962, à l'occasion du départ de Jacques Yvon, la grande Direction de la physique et des piles atomiques est scindée en deux : la Direction des piles atomiques revient à Jules Horowitz et la Direction de la physique à Anatole Abragam. Cette séparation marque aussi une étape importante dans l'histoire de la physique au CEA. Elle s'explique par l'importance démesurée prise par l'ancienne direction devenue ingérable en raison de la multiplicité de ses activités. La physique s'oriente alors vers de nouvelles recherches.

[20] Jean Zinn-Justin, « Le CEA, la physique théorique et la physique des particules », *Actes du colloque du 50e anniversaire du CEA.*

**67** : L'inauguration de l'Accélérateur linéaire de Saclay (ALS), 19 février 1969.
De gauche à droite : Jean Renou, André Herpin, Claude Bloch, Robert Lévy-Mandel, Bernard Thévenet, M. Falk-Vairand.

67

# Les débuts de l'aventure de la résonance magnétique nucléaire

Tandis que se développe la physique nucléaire, certains physiciens tentent de pénétrer plus finement au cœur du noyau pour sonder ses propriétés microscopiques. Deux équipes américaines de Harvard et Stanford découvrent ainsi la Résonance magnétique nucléaire (RMN), une technique de spectroscopie de radiofréquence qui permet de mesurer le magnétisme dû au spin nucléaire qui correspond à la rotation des particules sur elles-mêmes. Un grand nombre de noyaux atomiques, et en particulier les protons et les deutérons, possèdent un spin intrinsèque et un moment magnétique qui lui est parallèle. Spin et moment magnétique sont des grandeurs quantiques : leur projection sur un axe donné ne peut avoir que quelques valeurs bien déterminées. Dans un champ magnétique, il leur correspond des états d'énergie différents entre lesquels on peut induire des transitions à l'aide d'un champ magnétique par radiofréquence.

À Saclay, Anatole Abragam, qui sera par la suite Directeur de la physique, crée en 1955 au sein du Service de physique mathématique une Section d'étude de la résonance magnétique avec l'aide de Lionel Solomon et de Jean Combrisson. Pour monter ce nouveau laboratoire, un petit voyage d'étude s'impose outre-Atlantique, terre de la résonance magnétique… Anatole Abragam raconte son périple : « *Cet été 1955 nous préparâmes et mîmes à exécution avec Solomon un plan de voyage d'étude aux États-Unis à la recherche de l'inspiration à travers la visite des meilleurs laboratoires de résonance. Je n'en ai pas conservé la liste mais il y en avait beaucoup. Outre Harvard et MIT, la Bell Telephone et General Electric, Chicago et Illinois, Stanford, Palo Alto et Berkeley avaient été les principaux. Tous les soirs et quelles qu'aient été les fatigues de la journée nous nous réunissions avant de nous coucher pour confronter nos impressions et rédiger un rapport détaillé de tout ce que nous avions vu et entendu. À Palo Alto, nous visitâmes longuement la firme Varian, à la suite de Packard, l'un des deux co-auteurs avec (Félix) Bloch de la découverte de la RMN, cette firme étant lancée dans la construction d'aimants et de spectromètres pour la RMN. Nous décidâmes de leur acheter un aimant de douze pouces (diamètre des pièces polaires) et leurs spectromètres à large bande, une merveille.* »

La section, transformée en Service de physique du solide et de résonance magnétique, étudie les propriétés des solides simples (monocristaux) par diverses méthodes en particulier par résonance magnétique, par diffusion et diffraction de neutrons (plusieurs canaux de la pile EL3 sont occupés par ces recherches). Dès 1962, le service réalise les premières expériences de polarisation nucléaire. Il s'agit, pour étudier les effets des collisions des particules et l'importance de l'orientation du spin, de réaliser des cibles de protons dont les spins sont polarisés comme ceux des particules qui les rencontrent. « *La polarisation nucléaire,* écrira en 1965 Francis Perrin, *a conduit d'une part à la réalisation de magnétomètres précis de haute sensibilité ayant des applications pratiques importantes ; d'autre part à celles de cibles de protons polarisés à plus de 50 % qui ont déjà permis des expériences de physique corpusculaire à moyenne et haute énergie de très grand intérêt.* »

À partir de 1970, la résonance magnétique nucléaire connaîtra un développement fulgurant dû à la conjonction de deux progrès techniques décisifs : celui des aimants supraconducteurs et celui des ordinateurs. Ces avancées permettront notamment le développement de spectroscopie RMN à plusieurs dimensions de fréquence, qui a bouleversé la chimie moléculaire et déterminé en grande partie les progrès de l'imagerie médicale.




**68** : Anatole Abragam (à droite) et le journaliste François de Closets.

# La fusion contrôlée, une longue histoire

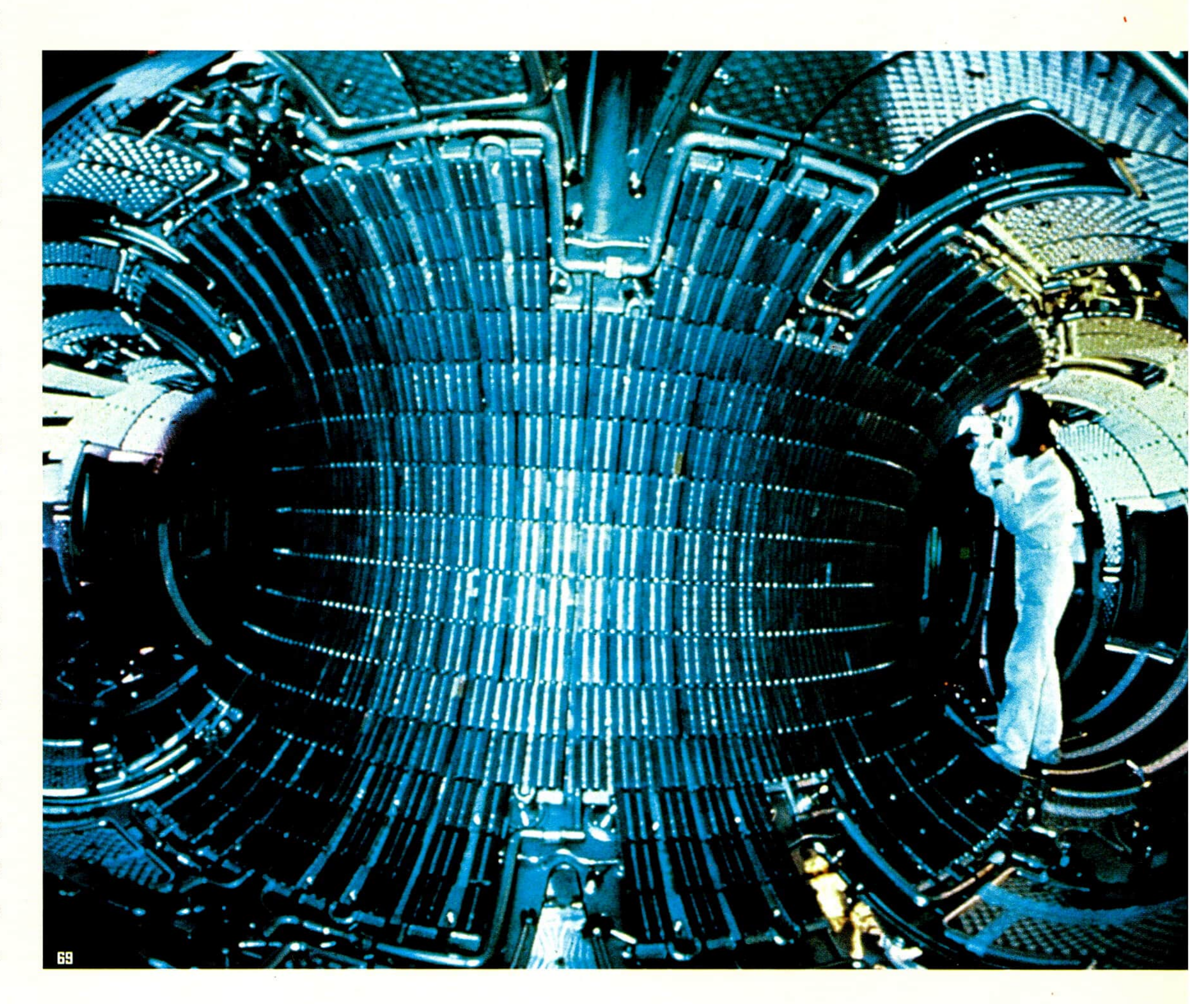
Réinventer le soleil afin de produire une énergie quasi inépuisable : tel est le défi technologique que s'efforcent de relever les physiciens depuis une cinquantaine d'années déjà. Les recherches sur la fusion contrôlée débutent timidement dans les années 30 avec le développement de la physique nucléaire et de la physique des plasmas. *« Dès 1920,* rappelle Michel Trocheris[21], *l'existence des défauts de masse des noyaux et l'équivalence masse-énergie d'Einstein ont conduit certains esprits audacieux, dont Jean Perrin et Eddington, à penser que des réactions entre noyaux d'atome pouvaient être source d'énergie et en particulier celle du soleil et des étoiles. »* À partir des années 30, de nouvelles découvertes viennent confirmer cette hypothèse et, en particulier, la découverte en 1934 de la réaction deutérium-deutérium. On parle, dès lors, de plasma pour désigner un gaz ionisé qui est électriquement neutre du point de vue macroscopique. Rapidement émerge l'idée d'exploiter cette réaction pour produire de l'énergie. Mais les physiciens sont confrontés à un problème : pour obtenir une telle réaction, il faut que le plasma soit porté à des températures de plusieurs dizaines de millions de degrés, d'où l'idée de confiner le plasma dans un champ magnétique...

Au CEA, les recherches sur la fusion contrôlée débutent en 1956 à Saclay au service de neutronique expérimentale sous l'impulsion de Pierre Hubert, avec le soutien de Georges Vendryes et de Jacques Yvon. Deux ans plus tard, à la conférence des Nations unies à Genève, les recherches sur la fusion contrôlée par confinement magnétique, considérées comme confidentielles depuis la guerre, sont déclassifiées. Au regard des multiples études menées au niveau international, toutes les équipes parviennent au même résultat : le confinement reste instable dans toutes les configurations imaginées. Le constat s'impose, comme le relève encore Michel Trocheris : *« Le plasma était en effet de la matière très mal connue à l'époque dont il fallait entreprendre l'étude systématique avant de pouvoir le maîtriser. »*

Suite à l'association Euratom-CEA créée en 1959, les recherches fondamentales se poursuivent à Saclay dans le cadre du Département de physique des plasmas et de la fusion contrôlée, intégré au Département de physique. À cette époque, deux grandes technologies s'affrontent : la filière Stellarator, développée à l'Université de Princeton à partir de la construction d'un prototype de réacteur thermonucléaire, et la filière Tokamak développée à l'Institut Kurchatov de Moscou, qui finalement se révélera la plus fiable.

En 1970, le CEA décide de se doter du dispositif Tokamak, construit sur le site de Fontenay-aux-Roses (TFR). Il entre en fonctionnement en 1973. Dès lors, les équipes de fusion contrôlée travailleront à Fontenay et à Grenoble où seront installés le Tokamak Pétula et le Stellarator Wéga. À partir de 1977 débutent les études de Tore-Supra qui doit succéder au TFR avec une collaboration très active des spécialistes de la supraconductivité de Saclay. Un projet européen est mis en route. Il aboutira à la construction du Joint European Torus (JET) mis en service en 1983. En 1988, le nouveau Tokamak, Tore-Supra, démarre à Cadarache où seront groupées toutes les études conduites sur la fusion...

[21] Michel Trochéris, « Histoire de la fusion contrôlée », *Actes du colloque du 50e anniversaire du CEA.*

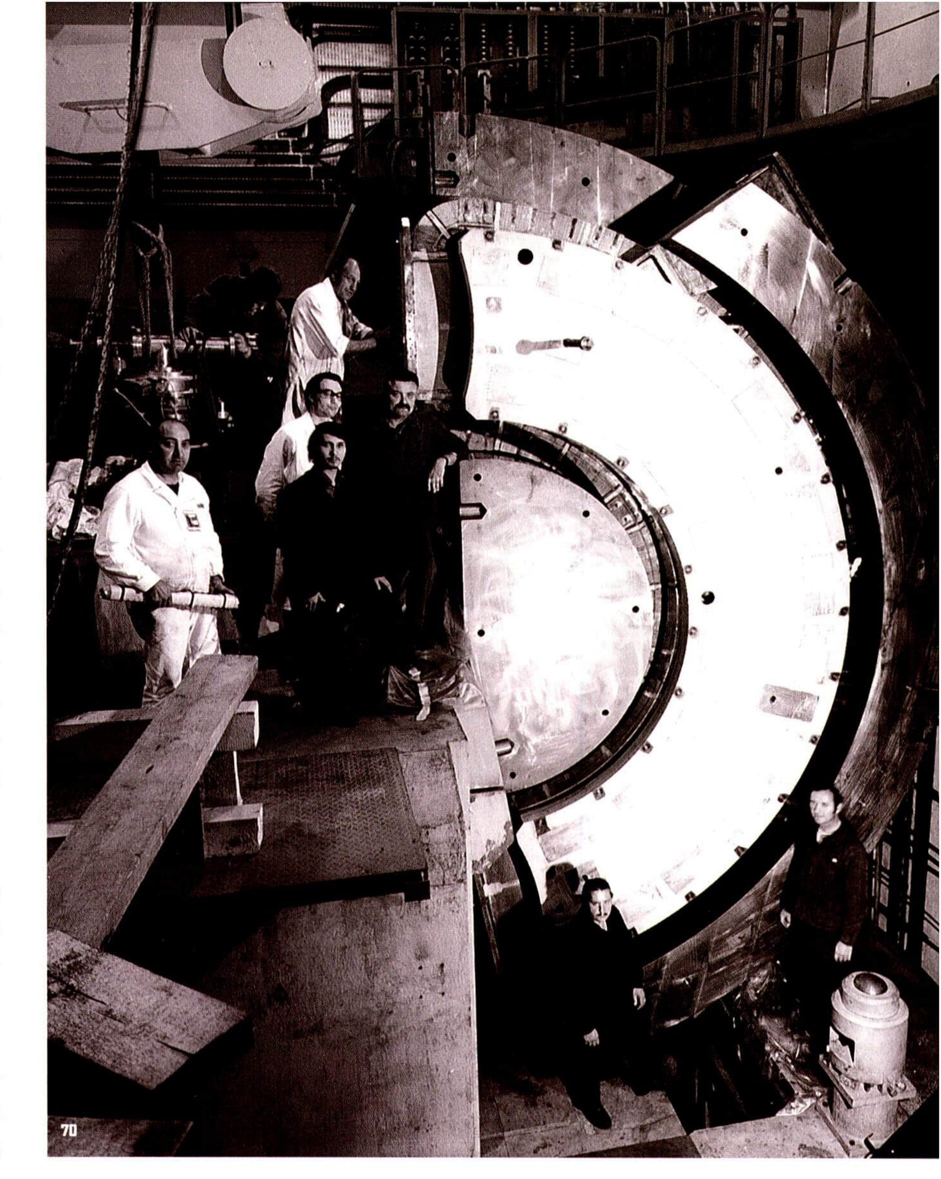


**69** : Vue intérieur du Tokamak Tore-Supra.

La nouvelle Direction de la physique se compose de plusieurs unités. En premier lieu, le Département de physique des particules élémentaires (DPH-PE), dont les activités se développent tout au long des années 60. Ce département, qui poursuit des travaux sur les nucléons et les noyaux de l'atome, s'appuie sur des machines exceptionnelles, le synchrotron Saturne et le synchrotron européen du CERN (Conseil européen pour la recherche nucléaire) à Genève. À ses côtés, le Département du synchrotron est chargé de l'entretien et du fonctionnement de Saturne. La direction comprend également le Département de physique nucléaire qui se consacre essentiellement aux recherches fondamentales sur la structure des noyaux, le mécanisme des réactions nucléaires et les interactions nucléaires aux énergies inférieures à 500 MeV. Conséquence directe de la séparation entre l'activité piles atomiques et la direction de la physique, les équipes du Service de physique mathématique sont scindées en deux. Certaines restent au sein du Service de physique pour se consacrer à la physique des réacteurs, tandis que les autres rejoignent un Service de physique théorique, créé au sein de la Direction de la physique. Enfin, cette direction intègre le Département de physique des plasmas et de fusion contrôlée ainsi que le Service de physique du solide et de résonance magnétique.

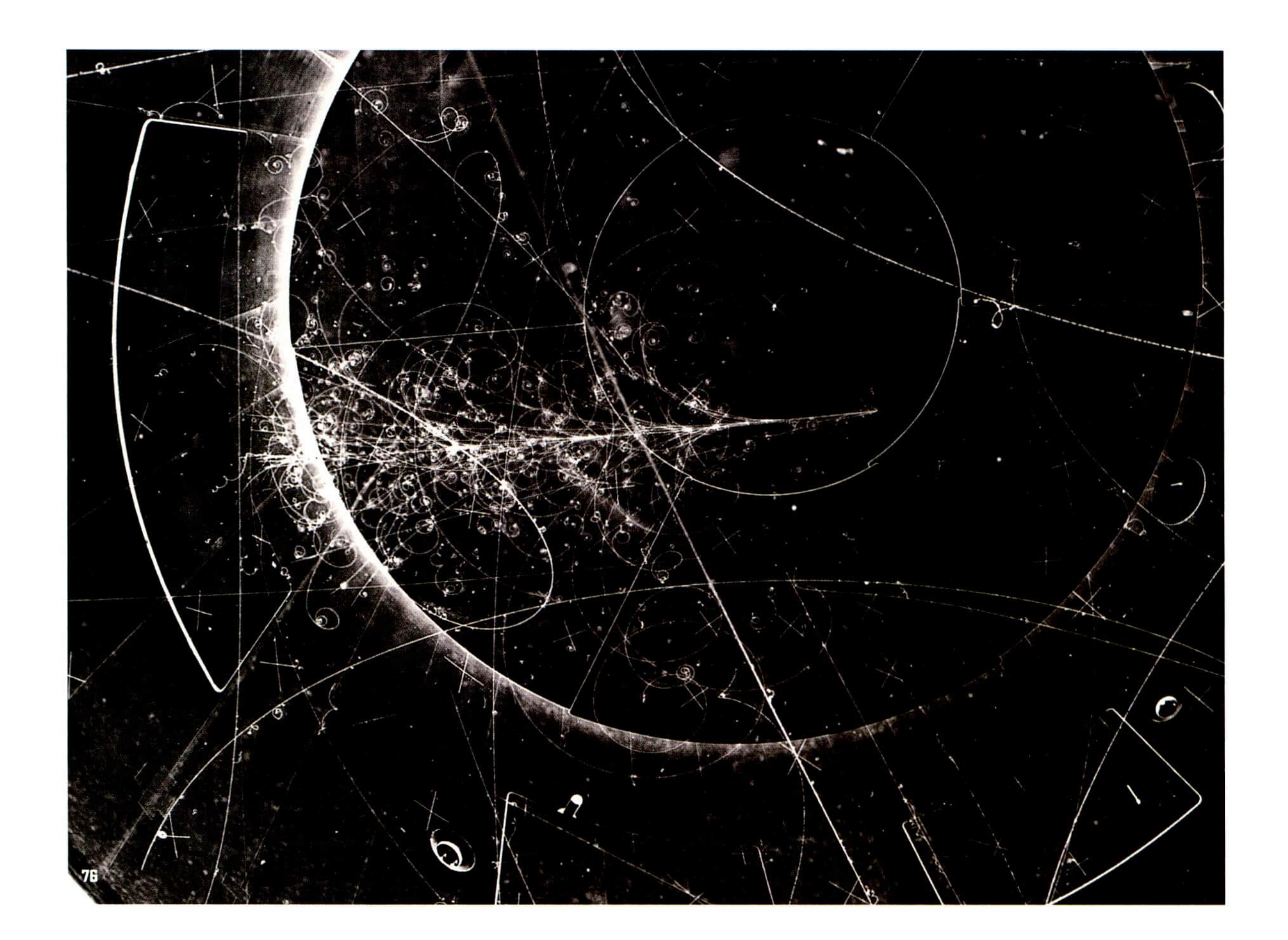
La création de la direction de la physique coïncide avec le lancement d'un nouveau projet d'accélérateur linéaire qui atteindra l'énergie de 300 MeV. En 1964, il est décidé de l'installer sur un terrain dit de l'Orme des Merisiers et « le bois des Plans du Moulon » appartenant au CEA depuis 1946 et resté en friche depuis lors. Dans la foulée, il est convenu que le site de l'Orme des Merisiers sera aménagé pour la recherche fondamentale en physique. Le CEA prévoit d'y installer l'état-major de la Direction de la physique et d'y regrouper toutes les activités qui ne sont pas directement liées aux installations déjà réalisées, à savoir la physique théorique et la physique du solide. Une bibliothèque commune aux deux services et une belle salle de conférence sont prévues. *« On attend de ce regroupement un important développement des liens, déjà très nombreux, entre les laboratoires du CEA et les laboratoires de recherches universitaires et étrangers œuvrant dans des domaines analogues »*, précise-t-on dans un article de la revue *Les échos du CEA* en 1967. Le nouveau site présentera donc la caractéristique d'être largement accessible aux collaborateurs extérieurs. *« Nous voulions un lieu qui ressemble davantage à un campus universitaire, ouvert et accessible »*, précise Anatole Abragam.

Trois ans après les premiers travaux de terrassement commencés au cours de l'été 1965, le CEA inaugure le 19 février 1969 l'Accélérateur linéaire de Saclay (ALS), en présence de Robert Galley, ministre de la Recherche scientifique. Cet accélérateur de 300 MeV, installé à l'Orme des Merisiers, est alors le plus puissant du monde dans sa catégorie. Il améliore considérablement le dispositif des accélérateurs linéaires car il est équipé d'un grand nombre de cavités placées en ligne droite, dans lesquelles un champ électromagnétique propulse le faisceau d'électrons. La cohérence entre l'orientation de ce champ et celle du faisceau permet aux électrons de gagner de l'énergie en accélérant leur course jusqu'à une vitesse très proche de celle de la lumière.


70

**70** : Spectromètre de la salle HE1 (Haute énergie 1) en cours de montage sur l'ALS (Accélérateur linéaire de Saclay).

71 : L'ALS installé en 1969 sur le site de l'Orme des Merisiers.
72 : Vue aérienne de l'Orme des Merisiers en 1968.
73 : Élément d'une bobine de l'ALS.
74 : Vue partielle de l'ALS.
75 : Salle de haute énergie : installation d'éléments optiques magnétiques de transport de faisceaux d'électrons.



76 : Traces curvilignes et arborescentes laissées par les particules dans une chambre à bulles.

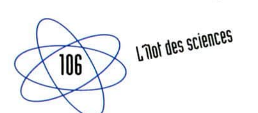
## L'essor de la physique des particules

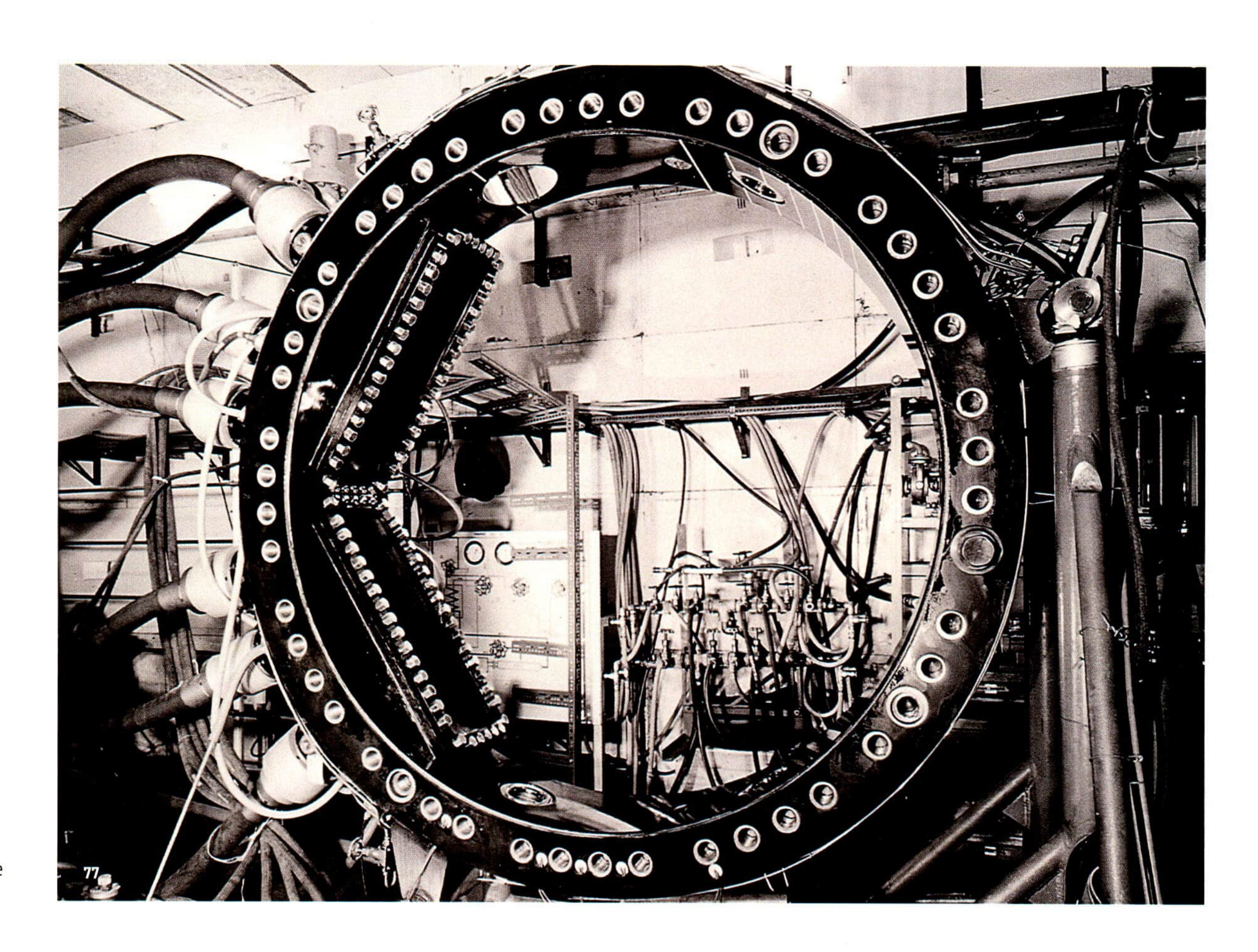
Toutes les recherches menées depuis les années 50 en physique nucléaire ont eu pour objectif de comprendre, à l'aide d'accélérateurs chaque fois plus puissants, la structure intime du noyau. Pour explorer l'infiniment petit et étudier la constitution de la matière, les physiciens construisent des accélérateurs dont le principe de base est chaque fois identique : un faisceau de particules est accéléré et orienté vers une cible. La violence du choc, alliée à l'énergie gagnée par le faisceau, engendre des gerbes de particules que les physiciens s'efforcent ensuite d'identifier. Dans le cas des accélérateurs linéaires (Van de Graaff, ALS), les faisceaux de particules ne passent qu'une seule fois. Lorsque les accélérateurs sont circulaires (cyclotron, synchrotron), les particules effectuent un grand nombre de tours. La recherche des constituants ultimes de la matière nécessite d'atteindre des énergies de plus en plus élevées afin de pénétrer plus profondément dans les noyaux.

Dans un accélérateur circulaire, la trajectoire des particules est incurvée à l'aide d'un champ magnétique produit par des aimants. Ces dispositifs permettent alors de parvenir à une énergie de l'ordre d'une trentaine de MeV à quelques GeV. L'énergie des particules qui prennent plus de vitesse à chaque tour est alors proportionnelle au rayon de courbure et à l'intensité du champ magnétique. Les particules accélérées sont ensuite éjectées de la machine pour être dirigées sur une cible fixe autour de laquelle sont disposés des détecteurs. À Saclay, les physiciens utilisent le fameux cyclotron, l'une des premières installations du site, mis en service dès 1954.

Le CEA souhaite accéder à de plus hauts niveaux d'énergie pour explorer la physique des particules, un domaine déjà bien avancé aux États-Unis où les scientifiques disposent du puissant synchrotron à protons de Brookhaven. Le lancement du projet de synchrotron à protons de 3 GeV, Saturne, est décidé en janvier 1955. Sa conception s'appuie très largement sur celle de l'installation américaine.

Parallèlement, les responsables du CEA participent activement aux discussions qui aboutissent à la création du Conseil européen pour la recherche nucléaire (CERN), créé en 1952. Devant l'avance prise par les Américains dans le domaine de la physique des





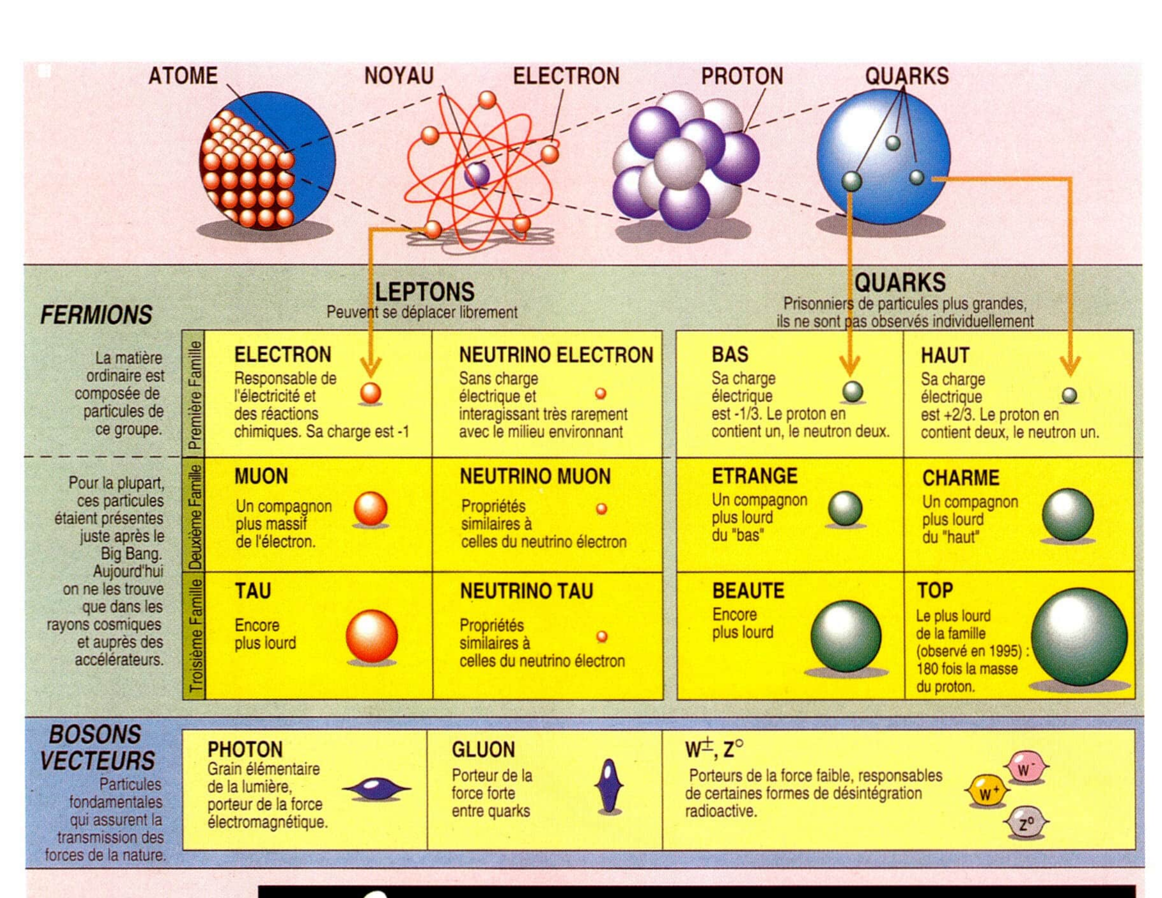
**77** : Chambre à bulles Gargamelle réalisée par le CEA et installée au CERN.

particules, il s'agit de construire un synchrotron à protons, plus puissant que l'accélérateur de particules dont disposent les Américains à Brookhaven. En novembre 1959, le synchrotron du CERN, installé à Genève, est mis en route. Dès lors la course aux plus hautes énergies s'engage... Le but est de sonder la matière jusqu'à ses ultimes constituants et de comprendre la structure des interactions qui les lient.

Du côté des « expérimentateurs », le Laboratoire de physique corpusculaire à haute énergie (LPCHE) dirigé par André Berthelot est transformé en Département de physique des particules de haute énergie en 1966. C'est en son sein que seront développés les premiers grands détecteurs qui permettent d'enregistrer et d'analyser les particules produites dans les accélérateurs.

À cette époque, le CEA s'intéresse à la première génération de détecteurs : celle des chambres à bulles. Installées à proximité des accélérateurs, les chambres à bulles permettent d'observer et de photographier les trajectoires des particules résultant d'une collision. Le principe est simple : dans certaines conditions, le passage d'une particule électriquement chargée dans un milieu liquide est révélé par un chapelet de microbulles. Chaque événement est photographié au rythme d'un toutes les cinq à dix secondes. Le dépouillement des clichés est ensuite réalisé à l'œil nu. Et tous se souviennent de la centaine de scanneurs, en majorité des femmes, en train de déchiffrer les traces.

C'est en 1959 que Saclay entreprend la construction de ses premières chambres à bulles à hydrogène. Une chambre de 25 litres est construite en 1959, une seconde de 70 litres est installée sur l'accélérateur Saturne en 1960. Cette dernière prendra un million et demi de clichés ! Le département développe progressivement une vraie compétence dans le domaine des chambres à bulles, reconnue par la communauté scientifique internationale. À Saclay sont ainsi conçues plusieurs installations pour le Rutherford Laboratory britannique, pour le Desy (Deutsches Elektronen-Synchrotron) à Hambourg et pour le CERN, avec le projet Gargamelle réalisé en collaboration avec l'École polytechnique et l'École normale supérieure en 1971. Mais celle qui fera date dans l'histoire de Saclay est bien la collaboration franco-soviétique qui durera plus de vingt ans...





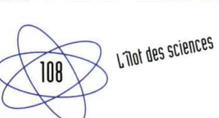

**78** : Le tableau des particules élémentaires.

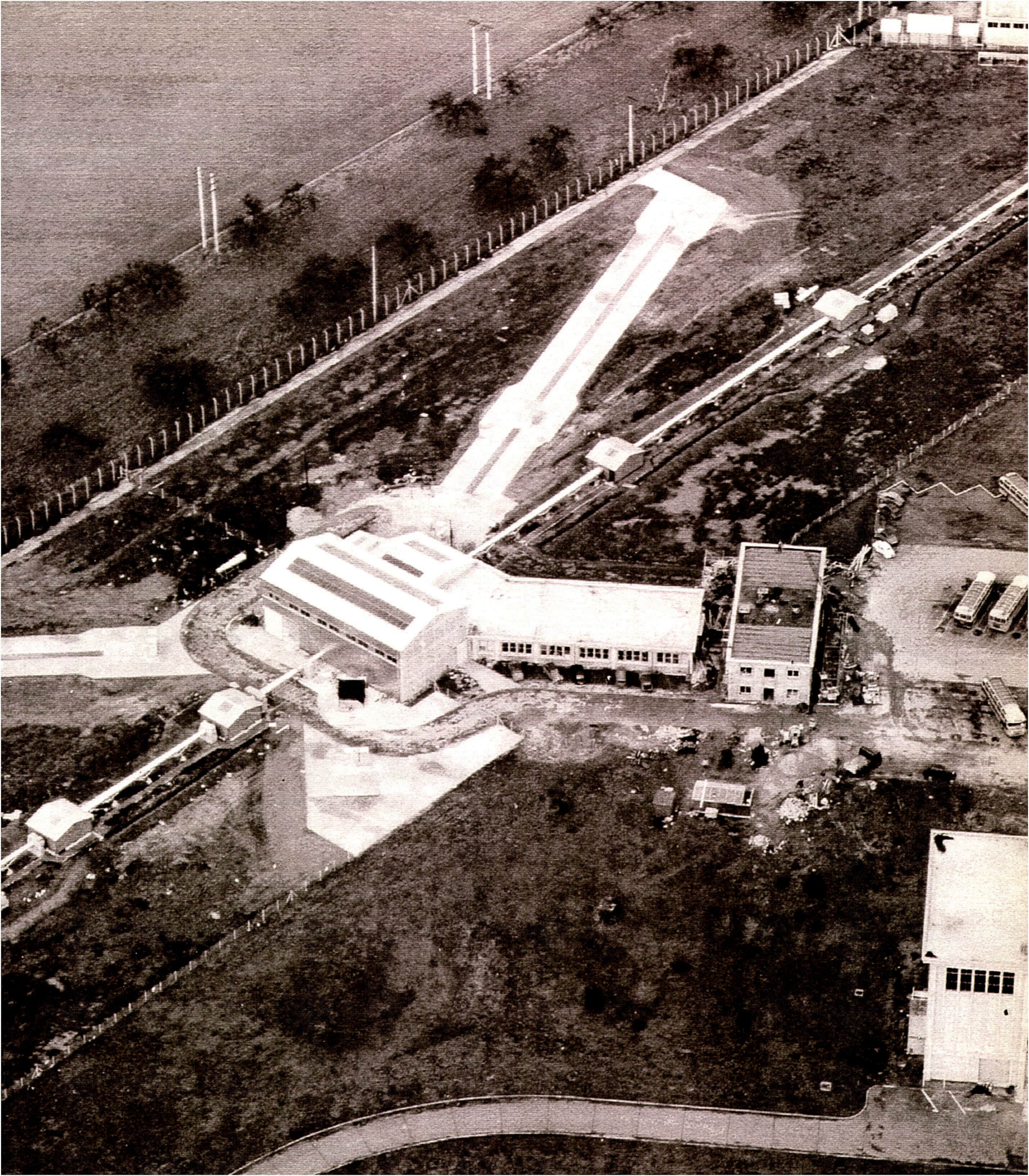
**79** : Accélérateur linéaire de l'Orme des Merisiers (ALS), en 1968.

**80** : Accélérateur linéaire pulsé à électrons, qui permet, après chocs, une éjection de neutrons et des mesures physiques par la méthode du temps de vol.

79

80





# Saturne I, un synchrotron à protons de 3 GeV pour la physique des particules

Le projet Saturne est lancé en 1955 sous l'impulsion de Francis Perrin. Inquiet de la difficulté du projet, le haut-commissaire écrit alors : *« Le CEA disposait de l'équipe dirigée par Stanislas Winter qui avait fait ses preuves dans la réalisation remarquable du Van de Graaff de 5 MeV. »* Tout en ajoutant : *« Il fut décidé de confier la responsabilité générale de la construction du synchrotron à un ingénieur ayant une grande expérience industrielle, Raymond Maillet, Stanislas Winter (déjà chef de service) devant être l'ingénieur en chef du projet[22]. »* La construction de Saturne reste dans la mémoire de tous comme l'un des plus gros chantiers mais aussi une belle aventure humaine mobilisant les compétences scientifiques et industrielles de plusieurs dizaines d'hommes... Bernard Thévenet, rentré à l'époque dans le service chargé de faire des détecteurs et de les calibrer, se souvient de l'ambiance du chantier : *« Il y avait là des gens qui avaient l'expérience de construire des gros équipements. Le chantier de Saturne exprimait bien cette capacité des hommes de Saclay à mener et à coordonner des gros projets. »*

Au cours de l'été 1958, tout le monde est sur le qui-vive : *« Saturne vient de faire tourner ses premiers faisceaux ! »* Bernard Thévenet se souvient être revenu à Saclay quelques jours après son départ en vacances. *« On a testé nos appareillages pendant tout l'été. C'était très impressionnant et fascinant, on cherchait avec nos détecteurs où était le faisceau. Il fallait trouver où il se cassait la figure pour créer un rayonnement secondaire. »* Le 6 novembre 1958, René Coty, encore président de la République pour quelques semaines, inaugure l'installation dont la majesté impressionne tous les visiteurs... Le gigantesque anneau est construit dans un hall permettant aux équipes d'intervenir sur l'équipement à plusieurs niveaux. Sur ce nouvel accélérateur, le champ magnétique croît en même temps que l'énergie, de façon à garder constant le rayon de la trajectoire. Il est produit par deux types d'aimants : les dipôles pour courber la trajectoire et les quadripôles pour focaliser le faisceau.

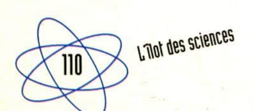
Si la construction de cet accélérateur représente une vraie prouesse technique pour les ingénieurs de Saclay, les apports à la recherche en physique des particules restent bien en deçà des attentes. Lorsque l'accélérateur Saturne débute ses premières expériences sur les faisceaux de protons, le domaine d'énergie couvert a été exploré depuis quelques années par le cosmotron de 3 GeV de Brookhaven et les recherches les plus avancées se font alors au bevatron 7 GeV de Berkeley. Les antiparticules des nucléons viennent d'être mises en évidence et ouvrent un champ de recherche plus vaste auquel ni le cosmotron, ni Saturne n'ont accès en raison de leur énergie inférieure. En réalité, il y aura peu de recherche spécifique sur Saturne. C'est ce qu'explique Maurice Gouttefangeas, qui fut chef du département Saturne : *« Saturne, capable de fournir des protons de 3 GeV, a été construit pour les physiciens des particules qui se sont ensuite installés à Genève, dès que le synchrotron du CERN a fonctionné en 1959 car l'énergie atteinte était beaucoup plus grande et plus compétitive que celle des machines américaines. »*

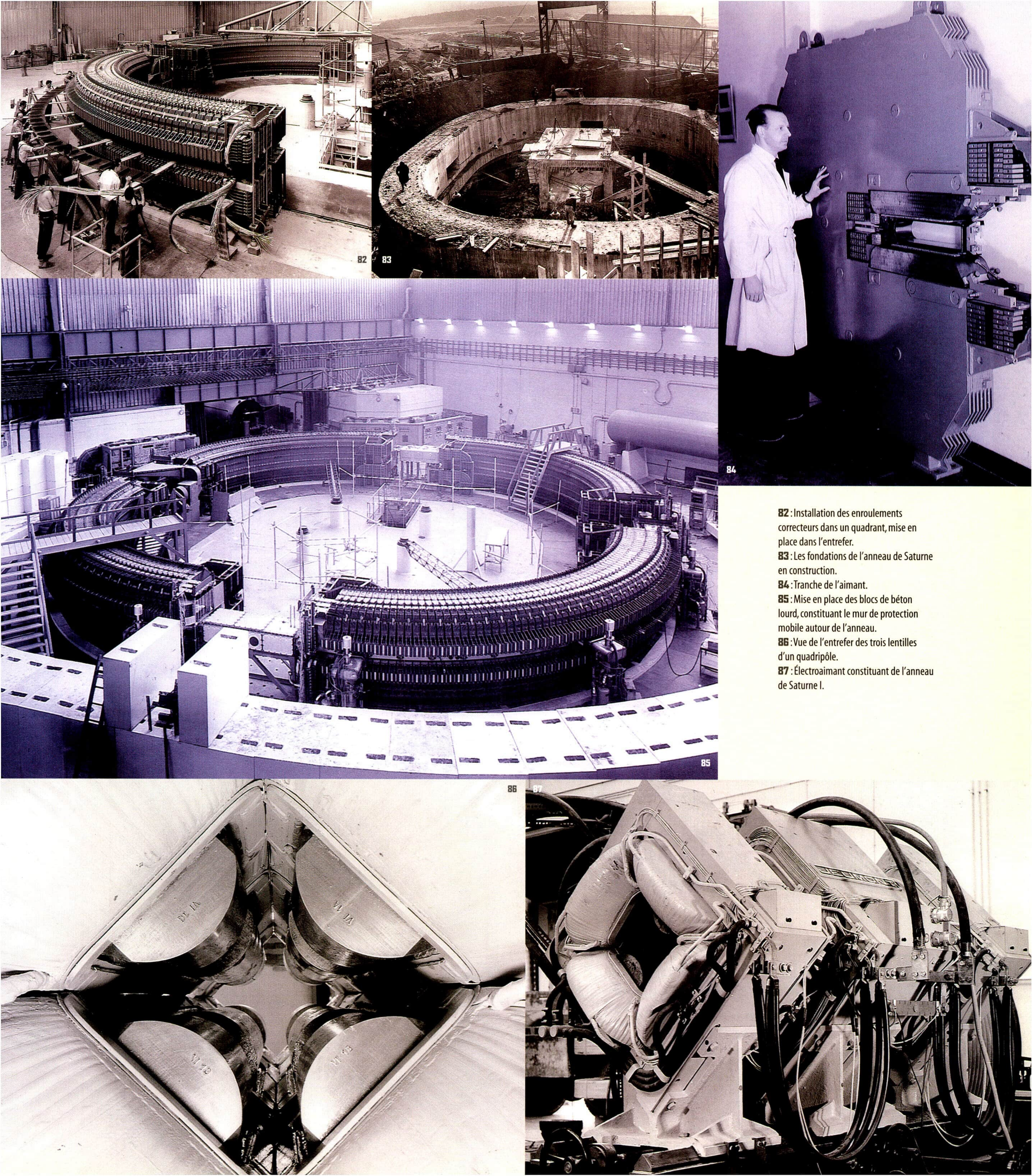
Dès lors, l'accélérateur servira surtout à faire des mesures métrologiques qui ne sont pas toujours faciles à réaliser sur les grands accélérateurs peu accessibles, et à mettre au point les appareillages expérimentaux et les détecteurs tels que les chambres à bulles à hydrogène et les premiers détecteurs électroniques. Des physiciens du CNRS du Collège de France utilisent également Saturne, soit en collaboration avec les équipes du CEA, soit de façon indépendante, en particulier pour des recherches concernant les chambres à liquides lourds. Mais une autre histoire attend l'accélérateur Saturne qui sera ensuite reconverti pour la physique nucléaire.

[22] Roger Vienet-Legue, « L'accélérateur Saturne », *Uranie*, décembre 2001.

**81 :** Créé pour favoriser la réflexion des physiciens, le jardin de « Saturne » est situé à l'intérieur du bâtiment.


81





**82** : Installation des enroulements correcteurs dans un quadrant, mise en place dans l'entrefer.
**83** : Les fondations de l'anneau de Saturne en construction.
**84** : Tranche de l'aimant.
**85** : Mise en place des blocs de béton lourd, constituant le mur de protection mobile autour de l'anneau.
**86** : Vue de l'entrefer des trois lentilles d'un quadripôle.
**87** : Électroaimant constituant de l'anneau de Saturne I.

# Mirabelle à Serpoukhov

À Protvino, à quelques kilomètres de Serpoukhov, on découvre quelques isbas recouvertes par la neige. C'est là dans le grand désert blanc de la plaine moscovite que des chercheurs soviétiques et français explorent le monde des particules... Cette collaboration franco-soviétique commence en 1966 avec la signature d'un accord prévoyant la construction d'une grande chambre à bulles pour équiper l'accélérateur de Protvino de 76 GeV. Le projet, baptisé Champagne en l'honneur de nos « bulles nationales », prendra finalement le nom de Mirabelle dans la continuité de Gargamelle. Le chantier commence en 1967. Conçue, montée et mise au point à Saclay, Mirabelle prend enfin au printemps 1970 le chemin de l'URSS en pièces détachées. 3 600 tonnes d'équipements sont ainsi démontées, emballées, répertoriées pièce par pièce. Transportées par camion jusqu'au Havre, les caisses sont alors chargées sur un cargo jusqu'à Leningrad et arrivent à Serpoukhov par le train. Entre-temps, les membres de l'équipe responsable du remontage et du fonctionnement de la chambre s'installent sur place avec leurs familles. Un défi difficile pour ces hommes qui doivent faire face aux problèmes techniques liés à cet appareillage dans des conditions auxquelles ils sont peu préparés. Pourtant, le défi est relevé. Dès juin 1971, les premiers clichés sortent. Ils sont uniques puisque Mirabelle, seule chambre à bulles à hydrogène liquide de cette taille, reçoit de l'accélérateur de Protvino des faisceaux de particules à des énergies jamais atteintes auparavant.

En octobre 1971, c'est l'inauguration officielle. François-Xavier Ortoli, le ministre français du Développement industriel et scientifique et M. Kirilline, le président du comité d'État pour la science et la technique de l'URSS, coupent le ruban en présence de nombreuses personnalités. Dans la foulée, débuteront les premières séries d'expériences. La collaboration qui prévoyait l'installation et l'exploitation de la chambre à bulles pendant cinq ans sera prolongée de plusieurs années. Il est même question de la poursuivre en fournissant des aimants supraconducteurs pour un autre accélérateur de six kilomètres qui doit être construit à Protvino. Dans le contexte difficile de l'Union soviétique au début des années 80, ce projet ne verra finalement pas le jour et la collaboration s'arrêtera définitivement en 1986. *« Mais cette expérience est restée comme une aventure humaine et technique unique pour tous ceux qui y ont participé. Elle a de plus renforcé notre savoir-faire en matière de grands projets »*, précise Marcel Jacquemet, chef de la mission de 1973 à 1977.

**COUP D'ŒIL SUR LA SCIENCE SOVIÉTIQUE**

## A SERPOUKHOV, UNE PETITE « COLONIE FRANÇAISE » : les ouvriers et les ingénieurs chargés de monter « Mirabelle »

**• NOTRE CHAMBRE A BULLES « TRAVAILLERA » AVEC L'ACCELERATEUR A PARTICULES GEANT SOVIETIQUE**

Serpoukhov, ... novembre. *(De notre envoyé spécial permanent.)*

SERPOUKHOV, à 100 kilomètres de Moscou sur la route de Kharkov, est mentionné pour la première fois dans le testament du grand prince de Moscou Ivan Kalita (vers 1339). Ce bourg a joué un rôle important dans la défense des terres russes contre les invasions tartares.

Aujourd'hui, c'est une grande ville industrielle (120.000 habitants). Mais à une vingtaine de kilomètres de là, au cœur de la forêt, des buildings poussent comme des champignons autour d'un étrange anneau, une butte ronde d'un kilomètre et demi de pourtour. C'est Protvino-Serpoukhov, le plus grand accélérateur à particules du monde : 76 milliards d'électrons-volts (1).

C'est là que les savants s'efforcent de découvrir les secrets de la matière.

Sorciers des temps modernes, ils lancent des protons (noyaux de l'atome d'hydrogène) accélérés par des champs électriques sur des cibles disposees dans le vide au sein de chambres d'expérimentation. L'ensemble est colossal.

L'essentiel de l'anneau de l'accélérateur est formé d'électro-aimants (120 blocs au total) pesant plus de 20.000 tonnes. Ces électro-aimants sont chargés de courber la trajectoire des protons lancés dans l'anneau à des vitesses voisines de celle de la lumière. A ces vitesses les particules émettent des rayonnements dangereux pour les êtres vivants, ce qui conduit à mettre en place toutes sortes de blindages de béton. Ce mastodonte est ajusté comme une mécanique de précision. Une erreur d'un centième de millimètre dans l'alignement des aimants et rien ne marche.

### Des sommes fabuleuses

Le cyclotron de Serpoukhov fonctionne aujourd'hui. La première pierre avait été posée en 1961. Sa construction a coûté des sommes fabuleuses. Seules l'Amérique et la Russie peuvent se payer individuellement un tel luxe pour leurs recherches scientifiques. C'est l'Institut de physique des hautes énergies qui dirige les travaux.

De-ci de-là, on entend parler français. C'est étrange dans un endroit aussi reculé, aussi secret. Il y a là neuf familles françaises d'ouvriers spécialisés et d'ingénieurs qui vont monter « Mirabelle », la plus grosse chambre à bulles du monde. Il y aura bientôt près de cinquante familles. Les Soviétiques leur construisent des appartements beaucoup plus spacieux que ceux des Russes.

Les magasins d'alimentation de cette ville scientifique sont plus fournis qu'à Moscou. Tout le monde est très gentil avec eux. L'endroit n'est pas très gai, surtout l'hiver, mais les chasseurs et les pêcheurs auront vite fait de s'acclimater.

En définitive, c'est un Sarcelles un peu plus isolé, un peu plus russe. Il y a déjà six enfants français à l'école sur les 1.441 écoliers de la ville. Ils suivent leurs cours en français. Il y a deux institutrices françaises. Ils apprennent le russe. Mais les meilleures leçons sont celles de la récréation. Au tableau noir, il y avait des phrases en français. Un petit coin de chez nous au cœur de la Russie.

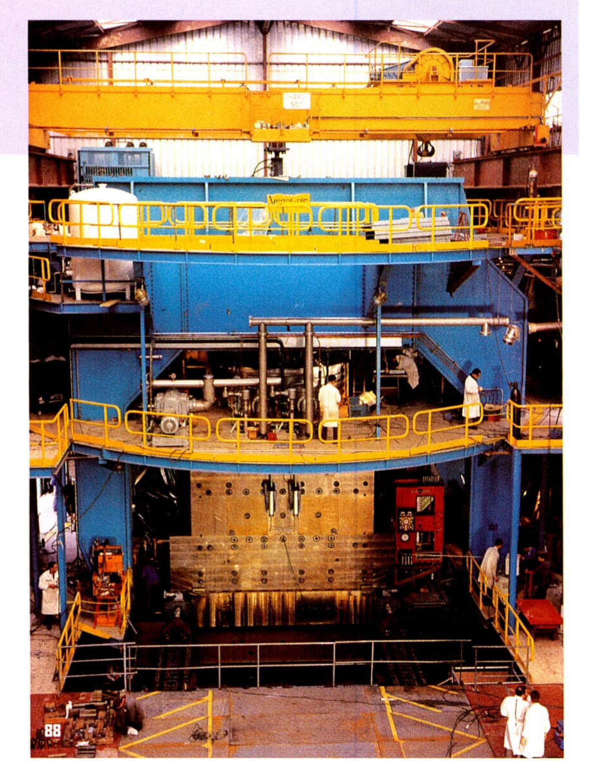
Quant à « Mirabelle », les Soviétiques lui ont réservé un immense hangar d'acier et de ciment. Tout est prêt pour recevoir « la belle dame ». La grosse chambre à bulles française se trouvera au bout d'un canal expérimental qui se décroche du cyclotron comme un rayon du soleil. Les savants français travailleront ainsi en étroite collaboration avec leurs collègues soviétiques.

« Mirabelle » est encore à Saclay où elle subit, auprès du petit accélérateur Saturne, ses premiers essais. Elle sera ici l'année prochaine. Au bout de son canal de 300 mètres, les particules nées des chocs des protons accélérés dans le grand anneau du cyclotron sur les cibles disposées dans les chambres d'expérience viendront inscrire leur trajectoire de bulles microscopiques dans les six mètres cubes d'hydrogène liquide de la cuve de « Mirabelle ». Les savants étudieront ainsi la brève existence des particules élémentaires.

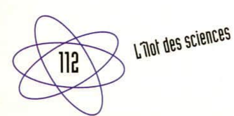
Nous sommes ici chez des grands prêtres. Ils officient dans une langue sacrée. Le profane n'y a pas sa place.

Robert Lacontre.

(1) Voir les articles d'Hervé Ponchelet, « Le Figaro » des 6 et 7 novembre 1969.




**88** : Chambre à bulles Mirabelle.



## Les prémices de la datation et de l'astrophysique

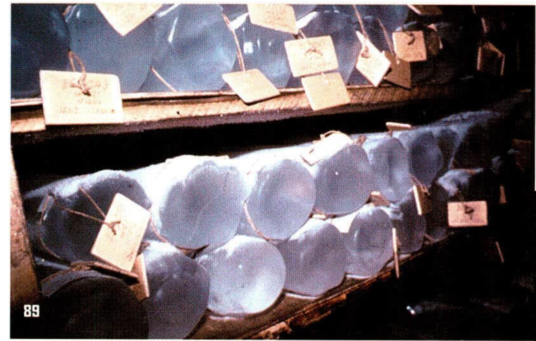
C'est dans une revue anglo-saxonne que les physiciens du CEA découvrent les premières expériences de datation au carbone 14. Dès le début des années 50 sont entreprises sous la conduite de Jacques Labeyrie les recherches qui conduiront à la création, en 1961, du centre des faibles radioactivités (CFR). Ce laboratoire mixte CEA/CNRS, implanté à Gif-sur-Yvette, est alors chargé de développer l'utilisation des techniques nucléaires dans le domaine des sciences de la Terre et de l'environnement. L'activité du CFR commence par le développement de méthodes de datation au carbone 14, un isotope radioactif du carbone. Une des toutes premières expériences illustre parfaitement l'intérêt scientifique de la datation grâce au carbone 14. L'analyse d'un morceau de charbon de bois trouvé dans une coulée de lave fait remonter l'âge du morceau à 6000 ans à peine, signifiant que la dernière activité volcanique datait de cette période. Cette découverte conduira à réévaluer l'histoire géologique de la chaîne des Puys... Un nouveau champ de recherche naît au CEA qui conduira à la mise au point en 1986 d'un appareil sophistiqué de datation, le tandétron.

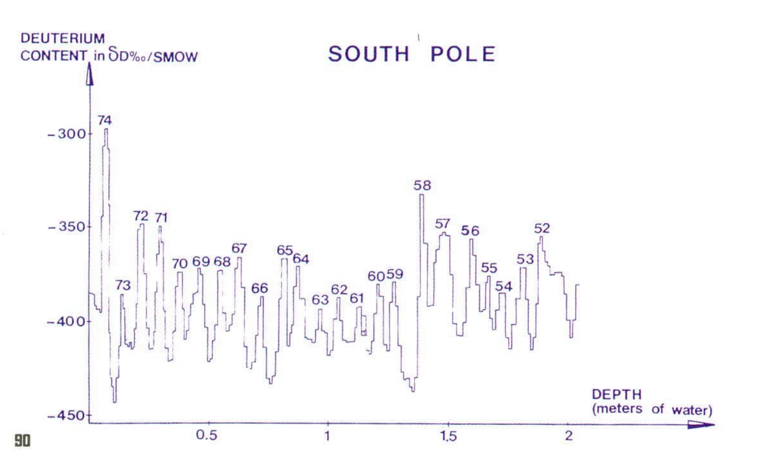
Au début des années 60, sous l'impulsion d'Étienne Roth, les équipes du Service des isotopes stables sont capables d'effectuer des mesures analytiques des abondances des isotopes de l'eau (deutérium et oxygène 18), qui sont nécessaires à l'accompagnement du programme électronucléaire alors axé sur l'utilisation d'eau lourde. Ces compétences sont aussitôt utilisées pour étudier la variation des concentrations isotopiques dans l'eau des océans, des précipitations, dans la grêle et également dans les glaces polaires, en liaison avec Claude Lorius du Laboratoire de glaciologie de Grenoble. Le fractionnement isotopique étant directement lié à la température du site, ces mesures représentent un thermomètre isotopique idéal. À chaque changement de phase de l'eau, la phase condensée (liquide ou solide) est plus riche en isotopes lourds que la phase vapeur qui lui donne naissance, ce qui se traduit par un appauvrissement progressif des teneurs isotopiques de la vapeur et des précipitations à mesure que la masse d'air se refroidit. Jean Jouzel, en liaison avec d'autres membres de l'équipe d'Étienne Roth, développe des modèles isotopiques basés sur l'utilisation de modèles de circulation générale de l'atmosphère. Ces modèles servent à interpréter les mesures isotopiques du deutérium et de l'oxygène 18 faites à partir d'échantillons prélevés sur 2000 mètres de carotte glaciaire au site de Vostok en Antarctique. Les résultats obtenus bénéficient d'un retentissement très fort dans la communauté scientifique.

**89** : La cave aux carottes glaciaires de Saclay.

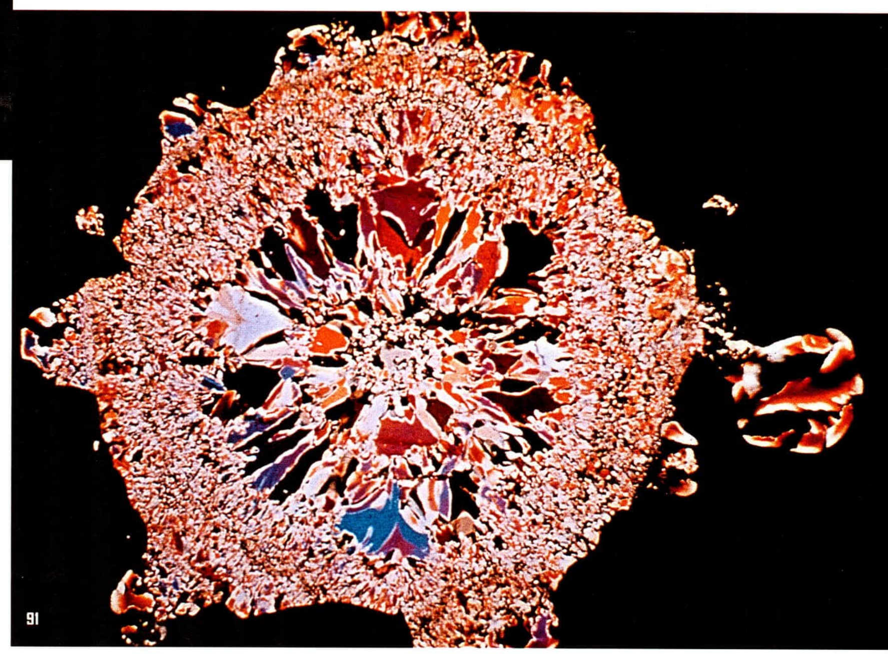
**90** : Variation des taux de deutérium au pôle Sud.

**91** : Coupe d'un grêlon.


89



90


91

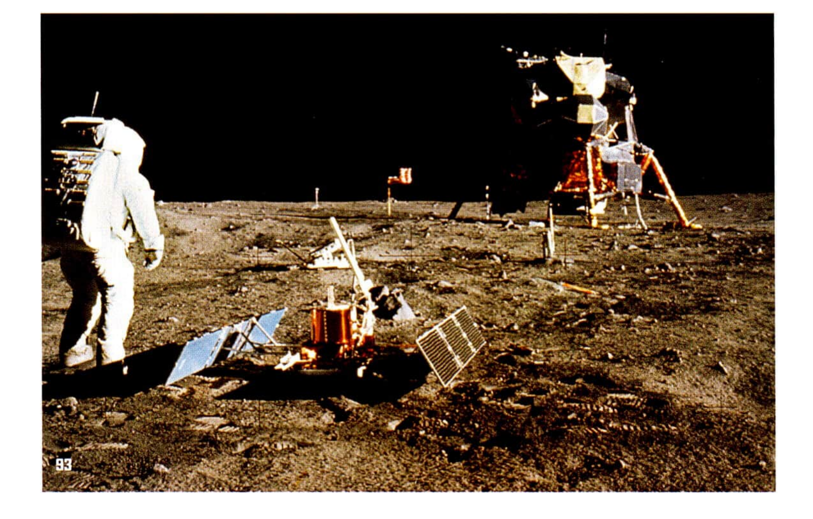


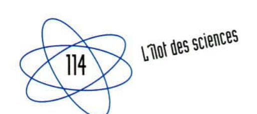
À Saclay, ces études amorcent un programme de grande ampleur visant à accumuler une « documentation » sur les climats du passé à partir des mesures isotopiques de l'eau couplées à l'analyse des bulles d'air piégées dans la glace. Le lien entre la température de l'atmosphère et la concentration en gaz à effet de serre lors de la succession des périodes glaciaires et interglaciaires est établi sans ambiguïté. Une collaboration exemplaire entre la France, la Russie et les États-Unis est mise sur pied dès le début des années 80 avec pour objectif de procéder à des forages de plus en plus profonds pour explorer des périodes climatiques toujours plus lointaines. Ces carottages, qui ont permis de couvrir quatre cycles climatiques, s'étendent au total sur 420000 ans. Ils montrent une remarquable corrélation entre climat et effet de serre pour l'ensemble de la période.

À la même époque, l'astrophysique fait ses débuts au Service d'électronique physique de Saclay dirigé par Jacques Labeyrie. Du rayonnement nucléaire aux rayonnements cosmiques, il n'y a qu'un pas. Les physiciens qui conçoivent et construisent les instruments nécessaires aux détecteurs de particules et de rayonnements s'attaquent à l'observation des particules et des rayonnements de l'espace. S'ouvre ainsi la fabuleuse recherche de l'origine et de la constitution de l'univers. À la suite de la création du Centre national d'études spatiales (CNES) en 1962 puis de l'ESRO (*European Space Research Organization*, future agence spatiale européenne), le CEA amorce véritablement en 1964 son programme d'astrophysique nucléaire et s'intéresse déjà aux projets de satellites... En 1967, les études spatiales sont regroupées dans la Section d'études spatiales dirigée par Lydie Koch-Miramond. C'est au sein de cette entité que débuteront les études liées à la spatialisation de détecteurs de haute énergie pour l'équipement des futurs satellites. En parallèle, des recherches théoriques seront amorcées sous la direction d'Hubert Reeves au début des années 70.

**92** : La chaîne des Puys vue du Puy de Dôme. Les dernières éruptions sont datées par la mesure du carbone 14 dans du bois brûlé.

**93** : Les premiers pas sur la Lune, mission Apollo II.





# Une première structure commune CEA-CNRS, le laboratoire d'analyse par activation Pierre Süe

Au cours de l'été 1967, sur une pelouse de Saclay, au pied d'Osiris, Philippe Albert et Pierre Lévêque, l'un du CNRS et l'autre du CEA, tous deux ardents promoteurs de l'analyse par activation neutronique, ont une idée : puisque les chercheurs des deux organismes utilisent fréquemment cette technique d'analyse, pourquoi ne pas coordonner leurs actions pour construire en commun des cellules d'analyse par activation auprès des piles Osiris et EL3 : le laboratoire commun était né. Il prendra le nom de laboratoire Pierre Süe, en hommage à ce professeur du Collège de France qui fut l'un des pionniers de cette technique. Sa création, entérinée par un protocole d'accord signé en 1968, prévoit un financement et une gestion paritaires. Mis en service en janvier 1970, il marque une étape importante dans l'histoire du site, puisqu'il s'agit de la première installation mixte CEA-CNRS. La réussite de cette entreprise encouragera fortement les deux parties à développer ce type de collaboration.

La technique d'analyse par activation consiste à soumettre l'échantillon que l'on veut analyser à un bombardement intense, de neutrons le plus souvent. Cette technique, qui permet de détecter et de doser d'infimes traces, inférieures au millionième de millionième de gramme, intéresse de multiples disciplines scientifiques : biologie, chimie, métallurgie, archéologie... Chaque isotope instable ainsi créé émet un rayonnement spécifique qui permet de l'identifier et de le quantifier par spectrométrie. Elle permet, par exemple, de repérer les impuretés dans les graphites ou d'infimes traces d'éléments dans des matériaux ultrapurs ou dans des matériaux semi-conducteurs. En archéologie, elle aide à déterminer la composition précise des objets (pierres, poteries, peintures...) souvent spécifiques d'une région ou d'une époque, et d'en déterminer scientifiquement l'origine. Véritable outil de détection, elle sert en géologie pour déterminer la composition des sols, en biologie pour le dosage des oligo-éléments dans les urines et le sang, ou en criminologie.

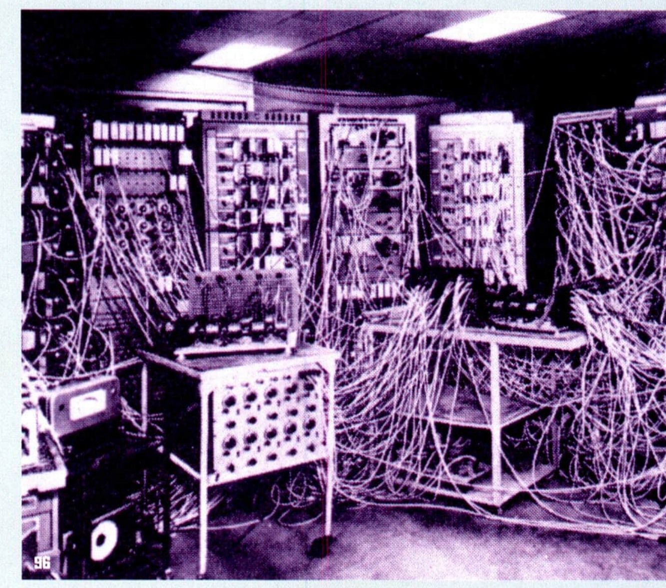
**94** : Pierre Süe dans son laboratoire.



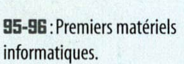
# Les débuts de l'informatique au CEA

C'est au sein du prestigieux Service de physique mathématique que le CEA commence à s'intéresser aux premières machines numériques… Albert Amouyal est recruté en 1951 pour étudier les possibilités de ces nouvelles machines miraculeuses en vue de leur utilisation au CEA. « *La tâche s'avéra assez ingrate au début, et commença par se limiter à la lecture de rares articles publiés dans les revues scientifiques et à quelques prises de contact avec diverses personnalités […] Ces contacts plus décevants les uns que les autres étaient d'autant plus démotivants que les besoins immédiats du Service de physique mathématique étaient convenablement satisfaits par son bureau de calcul. Celui-ci employait quatre personnes qualifiées, utilisant des machines à calculer Friden, et n'avait à résoudre pour les physiciens ou ingénieurs du service que des problèmes relativement simples, reflétant les modèles théoriques de l'époque.* »

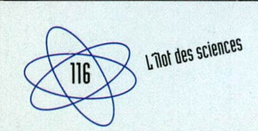
Cependant, la nécessité de passer à la vitesse supérieure apparaît rapidement. À la suite d'un séjour d'étude décisif en Grande-Bretagne durant lequel Albert Amouyal s'initie à l'utilisation de ces techniques nouvelles, le service commande en 1955 une machine Mercury. Parallèlement, les équipes s'étoffent et un groupe spécialisé, qui deviendra la section de calcul électronique, est créé. Le CEA reçoit ses premiers équipements en 1957, d'abord une machine IBM 650 commandée en catastrophe après les retards de livraison de la machine Mercury, qui sera finalement installée à Saclay à la fin de l'année 1957. Rapidement, les demandes affluent de tous les secteurs du CEA. Ainsi, le laboratoire des hautes énergies, qui doit traiter et analyser des millions de données expérimentales recueillies sur les accélérateurs, se révèle un « très gros consommateur d'heures de machine ». La demande de calcul croissant de plus de 40 % par an à partir des années 60, le CEA se dote en continu des ordinateurs les plus puissants disponibles sur le marché, même si la progression est un peu ralentie par les mesures d'embargo prises par les États-Unis et par l'adoption du plan calcul en 1966. Cette explosion des besoins de traitement de données se traduit aussi par le développement de la Section de calcul électronique qui passe du statut de service à celui de Département de calcul électronique pour devenir finalement le Département d'informatique.



Au début des années 70, le département dispose d'un effectif d'environ 450 personnes. Sa tâche est difficile car il doit s'adapter en permanence à l'évolution des systèmes d'exploitation et des configurations de machines et trouver des modèles numériques de plus en plus sophistiqués adaptés aux problèmes posés par les utilisateurs. Cette évolution s'accompagne aussi d'une action importante de formation à la programmation pour les utilisateurs. « *Parmi ces derniers, précise Albert Amouyal, ceux susceptibles de programmer eux-mêmes tout ou partie dépassèrent rapidement le millier ; ils exerçaient principalement leurs activités dans les domaines concernant les réacteurs nucléaires (neutronique, dépouillement d'expériences, thermique, mécanique).* » À la fin des années 60, l'informatique du CEA installée en majeure partie à Saclay est à l'avant-garde dans le domaine. C'est en partie ce qui motivera la filialisation de cette activité avec la création en 1972 de la CISI (Compagnie internationale de services informatiques). En attendant, une vraie culture de l'informatique se diffuse à Saclay. De nombreux laboratoires, appuyés par le département informatique, se lancent dans la découverte du numérique et dans le développement des premiers logiciels de modélisation et de simulation numériques.



**95-96** : Premiers matériels informatiques.



# Des biologistes à Saclay

En biologie, la disponibilité à grande échelle d'isotopes radioactifs, ouvre des perspectives révolutionnaires. Le CEA, dès sa création, décide d'explorer les possibilités nouvelles offertes à la biologie par l'utilisation de ces traceurs, tout en regardant les effets des rayonnements sur le vivant.

En 1953, le haut-commissaire Francis Perrin crée le service de biologie, confié à Jean Coursaget qui exerce à l'hôpital Necker. Jean Coursaget est alors un jeune professeur de médecine, qui vient de passer plusieurs mois à l'université de Columbia où il a travaillé sur l'utilisation des isotopes stables comme marqueurs. Fortement impressionné par les perspectives que laissent entrevoir ces outils, il entend bien poursuivre cette activité en France. Dans le contexte de l'après-guerre, mener des recherches à l'hôpital n'est pas chose aisée. Heureusement, Jean Coursaget peut compter sur l'appui de quelques mécènes, comme l'industriel du papier à cigarette Robert Lacroix qui lui permet d'acquérir son premier spectromètre de masse. Mais ces aides restent largement insuffisantes pour financer des études nécessitant des outils assez lourds. Aussi, lorsque Francis Perrin et Jean Debiesse lui proposent d'intégrer le Commissariat à l'énergie atomique pour y créer un service de biologie, la proposition l'intéresse : *« Ce qui m'a séduit, c'étaient les moyens mis en œuvre à un moment où les crédits pour la recherche étaient inexistants dans les hôpitaux. »*
Prudent, Jean Coursaget demande néanmoins à rester professeur de la faculté de médecine. *« À l'époque, et malgré les premiers résultats, toute la crédibilité du CEA dans le domaine de la biologie restait à forger,* résume-t-il aujourd'hui. *C'était un vrai pari ! »*

Les laboratoires de Saclay ne sont pas encore prêts. La petite équipe de Necker rejoint donc les biologistes travaillant déjà dans les casemates de Châtillon, dont le biochimiste Pierre Fromageot et le physiologiste François Chevallier. Installés dans des sortes de tunnels mal ventilés, les chercheurs doivent s'accommoder de l'humidité des murs. Certains tendent même des bâches sur les instruments ou mettent des parapluies au-dessus de leur bureau pour se protéger de l'eau qui goutte des infiltrations du plafond, parfois plusieurs jours après les grosses pluies. Mais l'ambiance intellectuelle du fort, où les biologistes travaillent à côté des physiciens et des chimistes, compense largement les inconvénients. Les biologistes découvrent que, grâce aux compétences de leurs collègues, ils peuvent imaginer et lancer des expériences irréalisables ailleurs.

97

**97** : Modèle d'une molécule d'ADN. La structure en double hélice a été découverte par J. D. Watson et F. H. C. Crick en 1953 (prix Nobel en 1962).

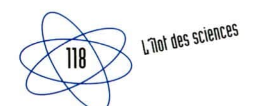
Les biologistes rejoignent, à partir de 1955, le fameux bâtiment en H. Ils y retrouvent, dans des structures mieux adaptées, le même mélange de disciplines qu'à Châtillon ; cette pluridisciplinarité sera toujours la caractéristique et la force de la biologie du CEA. « *Cette proximité avec les physiciens et les chimistes était considérée comme une vraie bénédiction par les biologistes, cela procurait une véritable émulation facilitée par le fait que les chercheurs avaient tous le même âge.* » Les biologistes ont bonne presse au CEA, ce sont « les chouchous », dit-on parfois ! Un peu en marge de l'activité principale, ils constituent une bonne vitrine et un exemple emblématique des applications pacifiques du nucléaire. Par ailleurs, comparés à ceux des disciplines qui utilisent des appareils onéreux, accélérateurs ou réacteurs, les budgets sont modestes, d'autant que le personnel compte de nombreux chercheurs étrangers accourus à Saclay pour s'initier aux nouvelles techniques. Plus ouverte que certains autres domaines de recherche, la biologie permet des collaborations internationales multiples et variées.

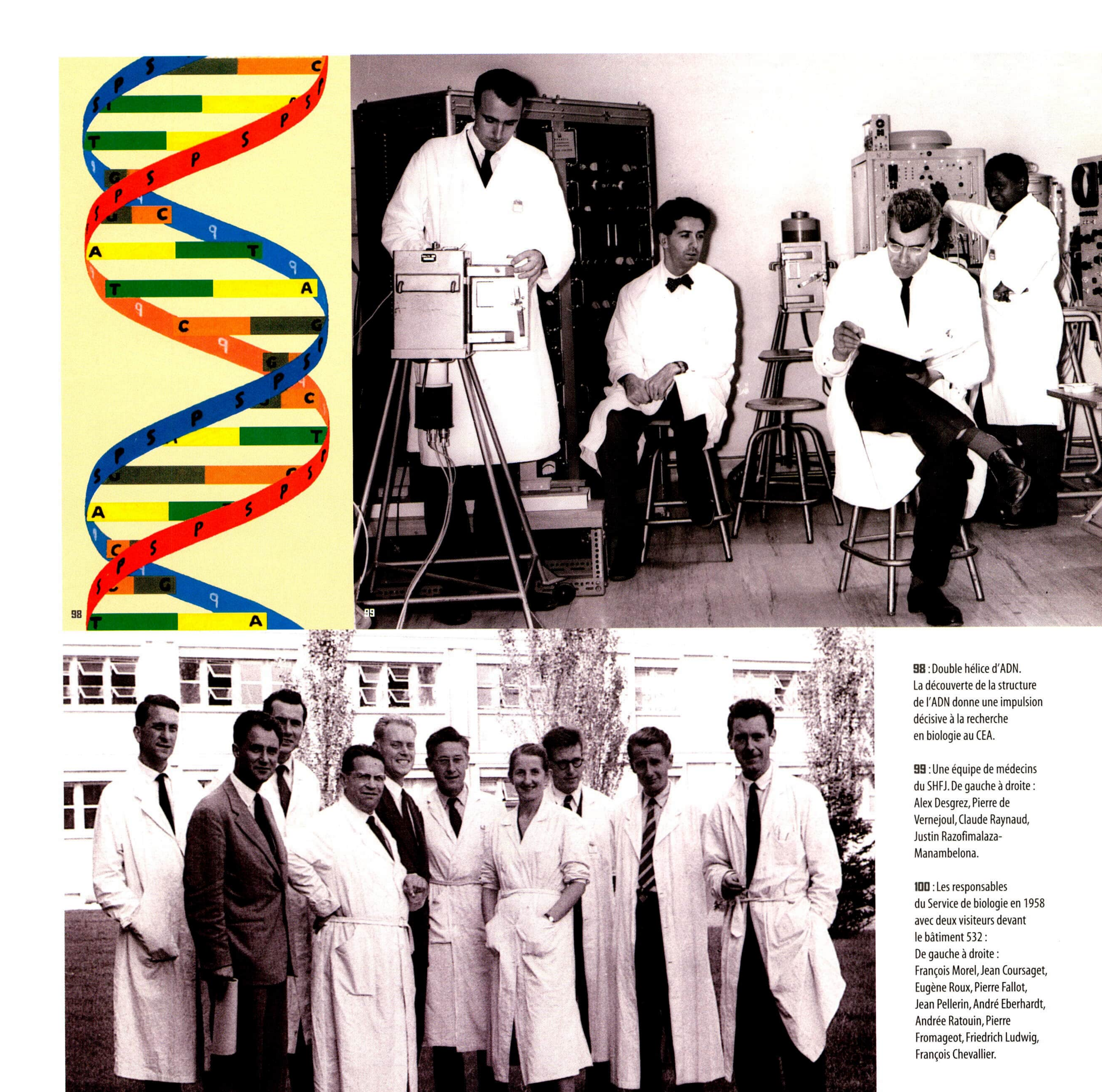
Lors de l'installation à Saclay, Jean Coursaget confie différents secteurs à des spécialistes : Pierre Fallot pour la biophysique, Pierre Fromageot pour la biochimie, Pierre Guérin de Montgareuil pour la biologie végétale, Claude Kellershohn pour la médecine nucléaire, François Chevallier et François Morel pour la physiologie. Cette organisation, qui restera inchangée dans ses grandes lignes, démontre l'exceptionnelle clairvoyance des fondateurs de ce Service de biologie. Rapidement, les recherches dans tous ces domaines foisonnent et les chercheurs affluent. Le bâtiment en H devient trop étroit. Un autre bâtiment, le 142, est aménagé tout spécialement pour les équipes de biochimie. Plus tard, en 1960, le service devient département. Le Service de radioagronomie qui y est créé s'implante en 1963 à Cadarache pour étudier les échanges d'eau et d'éléments entre les plantes et leur milieu. À la même époque, les physiologistes dirigés par Jean Maetz qui étudient les mêmes échanges dans les poissons partent à Villefranche-sur-Mer : ils y bénéficient des installations de la Station de biologie marine, les aquariums de Saclay devenant trop petits.

Les recherches menées par les biologistes et chimistes qui travaillent au marquage des molécules ont pris un tournant décisif après la découverte de la structure de l'ADN en 1953 par Francis Crick et James Watson. L'intérêt des scientifiques du monde entier se focalise sur la détermination du code génétique, la façon dont le message héréditaire contenu dans les chromosomes est décrypté par la cellule. La biologie moléculaire est née. Le CEA se mobilise pour fournir des molécules marquées. Dès les années 1950, Pierre Fromageot et ses collaborateurs mettent au point des méthodes de marquage. Premiers pas : l'exploration du métabolisme du soufre chez les oiseaux, et notamment dans les embryons de poule. Dans le même temps, le chimiste Louis Pichat, au Département de physico-chimie, développe des procédés de synthèse pour incorporer du carbone 14 dans les molécules organiques, dans le but de distribuer ces molécules aux biologistes. Dès lors, les expériences visant à connaître le devenir des constituants de la cellule (sucres, acides gras, acides aminés) se multiplient, permettant ainsi d'étudier le métabolisme cellulaire. À partir des années 60, les biochimistes mettent au point une méthode de fabrication d'acides aminés marqués au carbone 14, grâce à une algue verte étudiée en collaboration avec l'Institut français du pétrole (IFP). Cette algue, la spiruline, capable d'incorporer du gaz carbonique $^{14}CO_2$, fabrique massivement des protéines contenant du $^{14}C$. La biomasse est ensuite dégradée, les acides aminés séparés, purifiés puis envoyés dans les laboratoires demandeurs. Ces recherches inaugurent une nouvelle méthode de marquage par voie biologique ou enzymatique.

Les études en biochimie servent aussi directement celles du laboratoire de physiologie physico-chimique dirigé par François Morel, dont le but essentiel est d'étudier les propriétés de perméabilité et de transport des membranes biologiques. À la fin des années 1960, biochimistes et physiologistes collaborent ainsi sur la tritiation avec une haute activité spécifique d'hormones : l'ocytocine, puis la vasopressine puis bien d'autres... Au total, en vingt-cinq ans, environ deux cents hormones, analogues d'hormones, ou agonistes différents, seront tritiés. Les physiologistes du CEA contribueront ainsi à l'identification des récepteurs de plusieurs hormones.

L'imagerie médicale est l'autre domaine qui bénéficie de façon spectaculaire de l'apport de la radioactivité artificielle : dorénavant, on peut analyser la répartition d'une molécule marquée qui a été préalablement injectée chez un patient et suivre son cheminement grâce à une caméra qui détecte les rayonnements émis par le traceur. Cette technique est très précieuse, car elle permet d'étudier le métabolisme et ses troubles pathologiques sans intervention traumatisante. Les applications de cette méthode d'exploration vont bientôt constituer une spécialité médicale à part entière : la médecine nucléaire. À partir de 1956, physiciens et biologistes s'associent pour développer les techniques de scintigraphie de la thyroïde, technique qui établit une véritable cartographie de la distribution de l'iode dans la glande et détecte ainsi toute concentration anormale, liée par exemple à l'existence d'une tumeur. La richesse potentielle de ces applications conduit Jean Coursaget à mettre en place un service entièrement dédié à la médecine nucléaire. L'implantation de l'unité à Saclay même

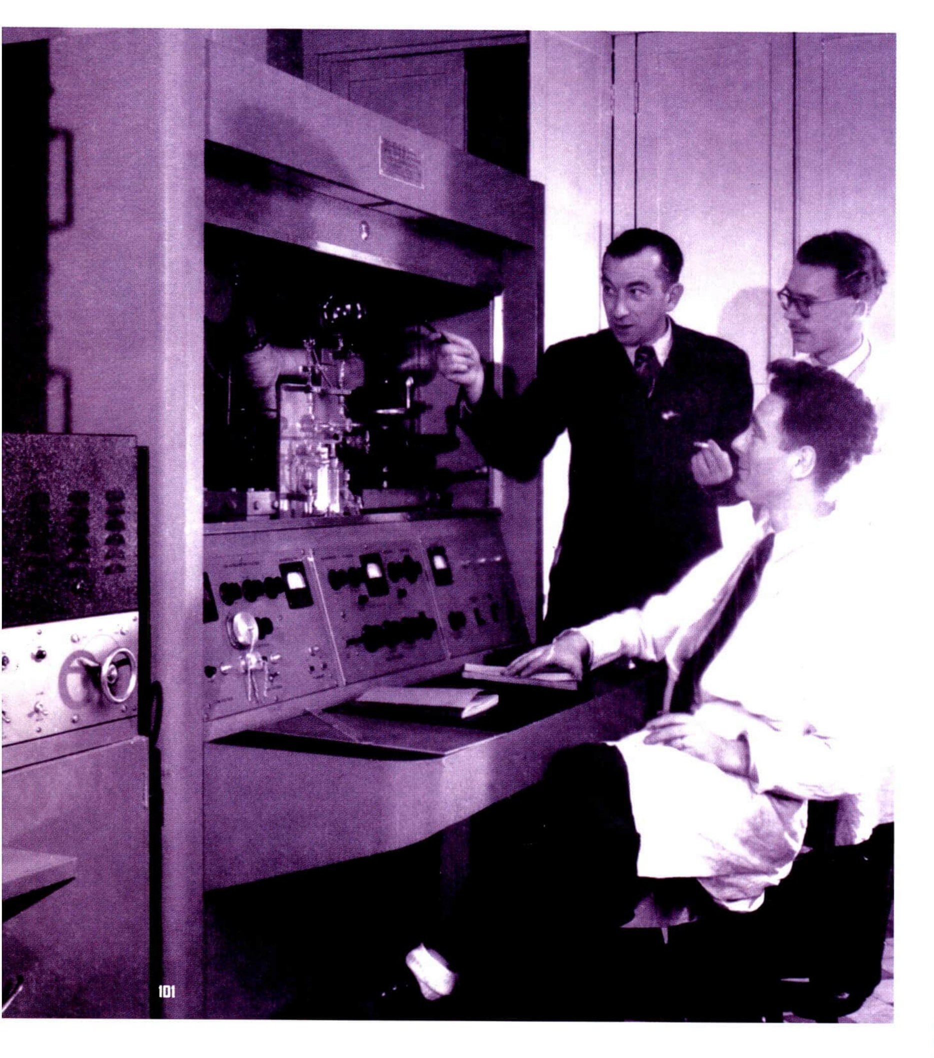





**98** : Double hélice d'ADN. La découverte de la structure de l'ADN donne une impulsion décisive à la recherche en biologie au CEA.

**99** : Une équipe de médecins du SHFJ. De gauche à droite : Alex Desgrez, Pierre de Vernejoul, Claude Raynaud, Justin Razofimalaza-Manambelona.

**100** : Les responsables du Service de biologie en 1958 avec deux visiteurs devant le bâtiment 532 : De gauche à droite : François Morel, Jean Coursaget, Eugène Roux, Pierre Fallot, Jean Pellerin, André Eberhardt, Andrée Ratouin, Pierre Fromageot, Friedrich Ludwig, François Chevallier.

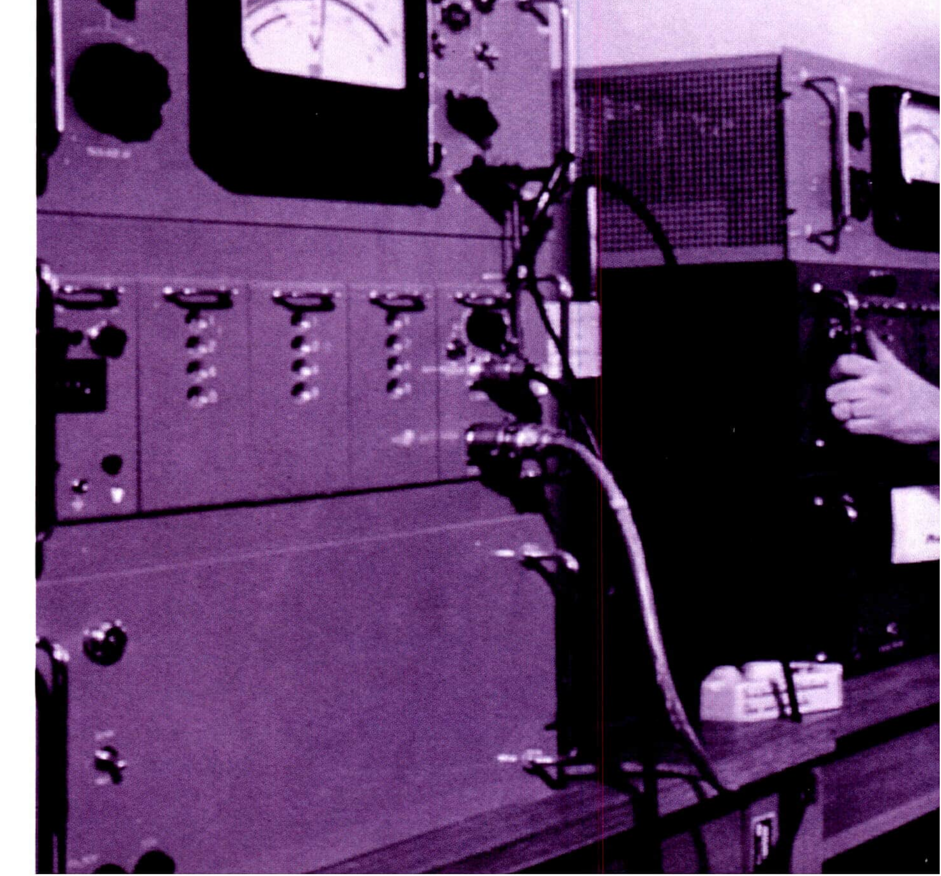


Le SHFJ, dont l'objectif est de mettre les techniques nucléaires au profit des malades, se lance dans deux grandes activités : l'imagerie médicale et les études cliniques et métaboliques réalisées sur le rein, le foie, le pancréas et la rate, la thyroïde et la circulation cardio-pulmonaire. *« En fait,* explique Claude Kellershohn, *c'est surtout l'imagerie médicale permettant la détection des molécules dans l'organisme et leur cheminement qui sera développée. »* Les premières études sont réalisées en association avec le Service d'électronique physique, avec qui il est mis au point des méthodes de scintigraphie et un dispositif stationnaire de caméra à étincelle. À partir de 1967, une véritable collaboration s'amorce avec le Laboratoire d'électronique et de technologie (LETI) à Grenoble, qui aboutira dans les années suivantes à la mise en place de l'imagerie médicale moderne.

**101** : Service de biologie, laboratoire de chimie-physiologie de la nutrition. De gauche à droite : M. Anatol, Paul Calvet et Dr. François Chevallier.

**102** : Salle de comptage du groupe de radiotoxicologie.

**103** : Catherine Cadel, pharmacienne au Service des isotopes de l'hôpital Necker.



est un temps envisagée, mais rapidement écartée pour des raisons administratives. Finalement, on décide d'implanter le nouveau service à l'hôpital d'Orsay, à quelques kilomètres de Saclay. Les débuts sont un peu laborieux. Le bâtiment construit spécialement dans l'enceinte de l'hôpital s'écroule quelques jours avant l'ouverture. *« C'était inexplicable,* se souvient Jean Coursaget, *il ne restait plus qu'un tas de gravas. Nous étions un peu choqués d'autant que nous avons frôlé la catastrophe : le jour précédent, une vingtaine d'ouvriers travaillaient à l'installation du chauffage central. »* Finalement le service, baptisé Service hospitalier Frédéric Joliot (SHFJ), ouvre ses portes en 1959 avec, à sa tête, Claude Kellershohn, agrégé de médecine, qui s'est intéressé aux applications de la physique nucléaire à la faculté de médecine de Nancy.

103

## La saga des radioéléments

En introduisant un élément radioactif adapté dans un produit, on peut suivre aisément tous ses déplacements à l'aide de détecteurs… Commencée dans les années 50 sous la direction de Jules Guéron, alors chef de Département de physico-chimie, la production de radioéléments prend une nouvelle envergure à Saclay et se structure peu à peu. En 1959, l'activité est répartie entre deux entités. Le Service des radioéléments artificiels est devenu une unité importante qui reçoit toutes sortes de commandes et établit un programme de production et de synthèses des molécules marquées, notamment au carbone 14. En 1958, près de 6 000 livraisons sont effectuées, couvrant environ 85 % des besoins français et le service exporte déjà dans divers pays. De son côté, la Section des applications des radioéléments étudie leur utilisation dans de nombreux domaines scientifiques et industriels.

Au début des années 60, toutes ces unités sont regroupées au sein du Département des radioéléments qui dépend de la Direction des matériaux et combustibles nucléaires. Un nouveau bâtiment lui est entièrement affecté. En 1969, la production s'étend aux sources intenses de césium 137 pour la radiothérapie, du titanate de strontium pour les générateurs autonomes d'électricité destinés par exemple aux satellites et aux bouées maritimes, et de cobalt 60 pour la gammagraphie. Saclay effectue désormais près de 64 700 livraisons par an, dont près de 9 700 vers l'étranger et les demandes s'accroissent de près de 30 % chaque année.

*« Le CEA a vite mesuré tout l'intérêt des traceurs et a essayé de développer d'innombrables applications. Cette politique nous a conduits à aborder les sujets les plus divers »*, précise Jean-Louis Boutaine. Du lac du Mekong au Cambodge à la lagune de Maracaïbo au Venezuela, en passant par l'embouchure de la Gironde, les équipes de Saclay se transforment en vrais globe-trotters de la sédimentologie et de l'hydrologie. Elles étudient le débit des eaux fluviales grâce au marquage des alluvions ou le mouvement des courants par celui des sédiments marins… Le service travaille aussi pour des applications industrielles : détection des poches d'huiles pour les compagnies pétrolières, étude de la vitesse de déplacement de produits dans des circuits d'usines chimiques, détection de fuites dans des canalisations enterrées et mise au point de méthodes pour mesurer, par exemple, l'usure des segments de moteurs, le débit d'huile de lubrification, les débits de gaz dans les circuits complexes.

Les collaborations, en particulier avec l'INRA (Institut national de la recherche agronomique), sont fructueuses et variées. Les équipes procèdent par exemple au marquage des abeilles pour analyser le fonctionnement d'une ruche ou tentent de comprendre les mouvements migratoires des criquets. Elles aborderont aussi de nouveaux domaines comme la génétique où les traceurs se révéleront de précieux outils. Les chercheurs expérimentent les vertus du rayonnement gamma, issu d'une source de cobalt 60, qui élimine efficacement et simplement tous les micro-organismes pour stériliser des produits alimentaires et des objets. Ces études déboucheront sur le lancement en 1970 du programme Nucléart lancé à Grenoble, qui se propose de mettre les propriétés des rayons gamma au service de la conservation des œuvres d'art.



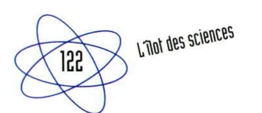




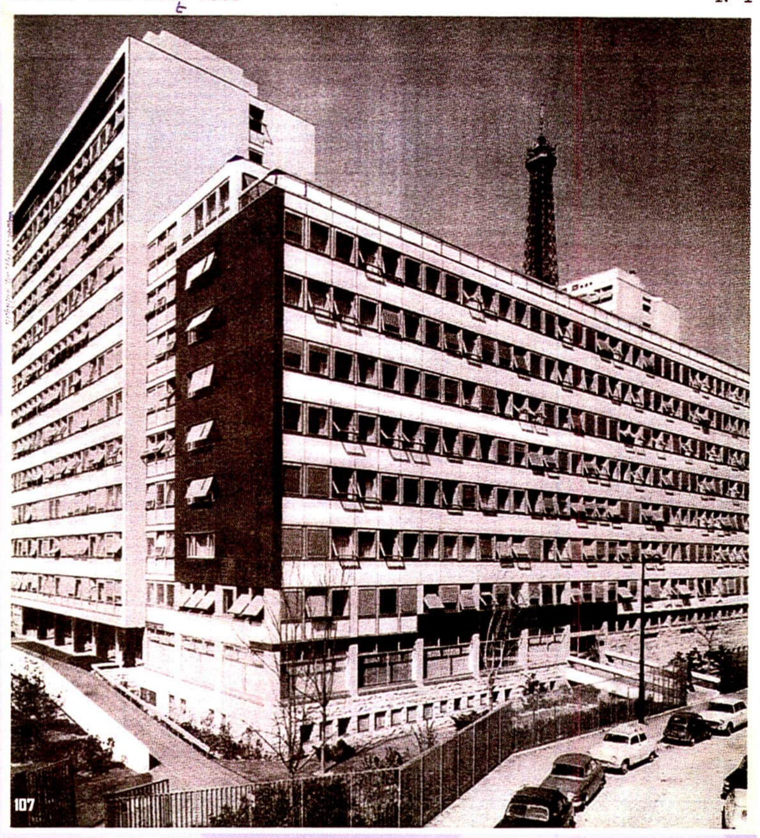
**104** : Lydia Cassin, grande figure des radioéléments.

**105** : Manipulation de radioéléments.

**106** : Un chercheur manipule les radioéléments placés à l'intérieur d'une cellule chaude.




123



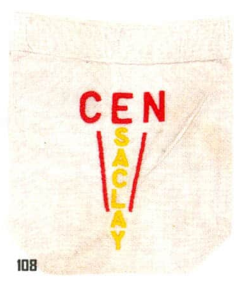
ECHOS DU CEA

AVRIL - MAI - JUIN 1965

N° 1

107

# SACLAY À L'HEURE DE LA TRANSITION




108



109



ORTF

*Pas de rectangle blanc* **pour les adultes!**

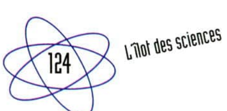
ENERGIES NOUVELLES

F.S.M.

JOURNAL DU SYNDICAT NATIONAL DES TRAVAILLEURS DE L'ENERGIE ATOMIQUE

## APRÈS LES ÉVÉNEMENTS DE MAI

*Un budget en récession*






## Une organisation à repenser

En vingt ans, le centre de Saclay, créé *ex nihilo* sur un plateau agricole isolé, s'est forgé une véritable âme et a développé une multitude de recherches. Le site est devenu ce lieu exceptionnel où se croisent toutes les disciplines fédérées autour d'un vrai projet, la recherche nucléaire. *« Pour les grands projets et les grands équipements, les crédits étaient débloqués sans que vraiment il y ait de limites. Et puis, l'organisme conservait encore une taille humaine et les décisions étaient prises rapidement par les grands responsables »*, souligne Georges Devic qui fut directeur adjoint auprès de Jean Debiesse. Pourtant au fil des années, le contexte évolue. À la fin des années 50, l'époque pionnière s'achève. Le centre avec ses 4000 agents est devenu une grosse machine un peu lourde et déjà sa gestion commence à être critiquée.

À cette époque, le centre n'a pas encore d'autonomie financière. Son budget et sa comptabilité sont gérés directement par le siège. Avec la croissance du CEA, la création des autres sites, cette organisation qui datait de l'époque où le centre se confondait quasiment avec le CEA, devient inadaptée. Elle génère des lourdeurs hiérarchiques et administratives se répercutant à tous les niveaux d'autant que, compte tenu de la multiplication des services et des agents, l'accès aux services centraux se fait de plus en plus difficilement. Dès 1959, un effort de rationalisation est entrepris pour uniformiser les structures devenues ingérables depuis les services centraux. Il se traduit par la mise en place des grands départements. Ces derniers deviennent les unités administratives de base permettant de déconcentrer un certain nombre de décisions administratives et comptables.

**107** : Premier numéro des *Échos du CEA*.
**108** : Broderie sur une poche de blouse de chercheur.
**109** : Réunion au Service d'électronique physique.
**110** : Affiche sécurité dans l'air du temps, de J. Castan.

L'année suivante, une note du 22 décembre 1960 donne un statut aux centres du CEA. Elle reconnaît ainsi une situation de fait : *« Le centre en tant qu'unité administrative est chargé de gérer des services centraux et d'assurer la vie des services implantés ou domiciliés sur son territoire. »* Cette note ne résout pas le caractère ambigu du centre puisque loin d'affirmer le rôle du chef de centre, elle le restreint : il est *« le représentant de l'administrateur général et du haut-commissaire sur le plan géographique »*. Analysant l'organisation comptable et financière du Centre d'études de Saclay, R. Vacquier dresse un constat sévère : *« L'observation essentielle [...] réside dans la constatation d'une centralisation excessive. Les services centraux détiennent la quasi-totalité des pouvoirs, les services locaux n'en ont pratiquement aucun. Les seuls pouvoirs délégués à Saclay sont ceux du groupe d'approvisionnement compétent pour acheter des produits courants sur des listes de fournisseurs agréés. »*
Et de conclure : *« Les mesures de décentralisation appliquées depuis quelques années ne sont en réalité qu'une déconcentration du travail matériel rendue nécessaire par l'encombrement des services centraux. »*

Cette organisation traduit aussi la difficulté de gérer de façon pleinement satisfaisante la dualité des hiérarchies fonctionnelles et administratives. Elle encourage *« les tendances autonomistes »* des départements et leur penchant *« à jouer de la direction scientifique contre le chef de centre et au-delà contre les directions administrative et financière »*. À cette époque, les pouvoirs publics commencent aussi à demander des comptes au CEA, habitué à des budgets relativement confortables. Saclay doit se familiariser avec des notions nouvelles, telles que le compte d'exploitation et la comptabilité analytique... De nombreuses interrogations ont porté sur la structure et l'organisation du CEA devenu gigantesque avec pas moins de quatre principaux centres de recherche et plus d'une dizaine d'implantations sur toute la France.

**des soviets à saclay ?**

**I - PREAMBULE**

***Les travailleurs du C.E.N. Saclay et des Entreprises Extérieures qui se sont réunis au cours du week-end ont analysé la situation actuelle en France. Le mouvement Etudiant a été le révélateur d'une crise profonde de la Société Française et le détonateur qui a permis que se déclenche une vaste mobilisation ouvrière. En tant que mouvement de lutte qui remet en cause toutes les structures bureaucratiques, étatiques, capitalistes, en tant que mouvement qui tend objectivement à la libération de l'Homme, le mouvement Etudiant doit recevoir notre salut et notre soutien...***

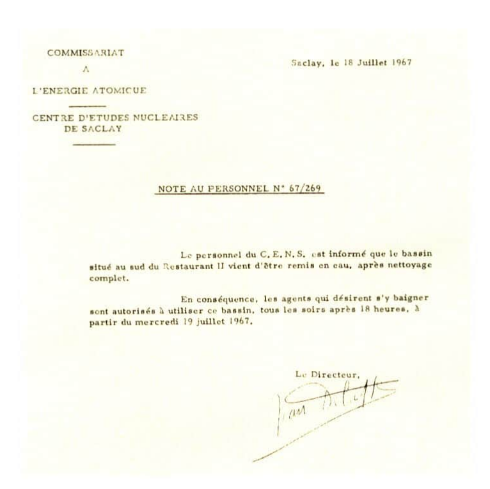
**cahiers libres 127**

**FRANÇOIS MASPERO**

Par-delà les mesures adoptées pour améliorer le fonctionnement des centres, des questions surgissent aussi sur la place de Saclay. Hier unique centre de recherche nucléaire et seul centre du CEA avec Châtillon, il est devenu, avec la multiplication des sites du Commissariat, un centre parmi d'autres... De la même manière, le paysage scientifique français et européen s'est considérablement étoffé au fil des ans. De fait, le centre n'est plus l'unique référence qu'il était autrefois. Ses chercheurs travaillent de plus en plus en partenariat avec leurs homologues de grands laboratoires internationaux. Même si Saclay reste de loin le principal lieu de recherche fondamentale et appliquée dans le domaine du nucléaire, sa place doit être repensée et sa vocation redéfinie. Un impératif, alors que surgit la remise en cause de la filière graphite-gaz, autour de laquelle le centre et le CEA s'étaient en grande partie structurés.



111



COMMISSARIAT
A
L'ENERGIE ATOMIQUE

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES
DE SACLAY

Saclay, le 18 Juillet 1967

NOTE AU PERSONNEL N° 67/269

Le personnel du C.E.N.S. est informé que le bassin situé au sud du Restaurant II vient d'être remis en eau, après nettoyage complet.

En conséquence, les agents qui désirent s'y baigner sont autorisés à utiliser ce bassin, tous les soirs après 18 heures, à partir du mercredi 19 juillet 1967.

Le Directeur,

**111** : Des stagiaires à la cantine. Du service à table, on est passé au plateau puis au self-service.



## Mai 1968 : « Des soviets à Saclay »

Quand éclate le mouvement de mai 68, le climat est déjà tendu sur le campus de Saclay. Quelques mois plus tôt, le rapport Horowitz-Cabanius évoquant à mots couverts la fin de la filière graphite-gaz a été rendu public. Pourtant le site tarde à emboîter le pas au mouvement qui débute le 3 mai 1968 avec de violents affrontements entre étudiants et forces de l'ordre dans le Quartier latin. Après plusieurs jours d'attentisme, une réunion rassemble près de 300 personnes au bâtiment de la documentation, le vendredi 17 mai. Elle prend deux décisions : la création d'un comité d'action et la convocation d'une assemblée générale du personnel le même jour à 15 heures. L'assemblée générale qui regroupe plus de 2 500 personnes est un succès. Le soir même, une réunion se prolonge tard dans la nuit. Le lendemain, les « insurgés » libèrent temporairement la salle de la documentation le samedi matin, afin de permettre à un groupe de visiteurs d'assister à une séance de projection sur Saclay...

Pendant tout le week-end, les réunions se succèdent et les propositions fusent. Parmi elles : l'élection des conseils auprès des directeurs et chefs de département *« afin de donner au CEA une structure démocratique et de mettre fin au mandarinat des responsables, la communication de tous les programmes et notations du personnel et la suppression du contrôle policier et du contrôle des entrées et des sorties, l'éducation permanente du personnel sur les lieux de travail, la reconnaissance des droits égaux à ceux du personnel du CEA pour les entreprises extérieures... »* Rapidement, les syndicats apparaissent débordés tandis que les entreprises extérieures s'interrogent avec Jacques Pesquet, qui lance la formule *« les soviets à Saclay »*.

Le lundi 20 mai est consacré à la préparation du vote sur les propositions du comité provisoire d'action. La direction s'oppose vigoureusement au principe d'un vote unique des agents du CEA et des agents des entreprises extérieures qui finalement voteront séparément. Le lendemain, 4 489 agents du CEA sur les 5 500 que compte le site voteront ainsi que 2 038 agents d'entreprises extérieures, soit au total 6 527 votants. À la question : « Êtes-vous d'accord pour mener l'action nécessaire pour faire aboutir les grandes lignes du programme dont vous avez eu connaissance le 20 mai ? » La réponse des salariés est largement favorable. Ils se prononcent aussi pour une grève de 24 heures renouvelable et pour *« l'occupation des locaux avec discussion pendant les horaires de travail »*. Suit alors une période de flottement pendant laquelle Saclay vit au rythme de la France de ce drôle de mois de mai, placé sous le signe des grèves générales et des pénuries.



**112** : Manifestation du 12 juin 1968 rue des Saints-Pères.

Le lundi 27 mai, Saclay se mobilise à nouveau : plus de 3 000 personnes participent à l'assemblée générale... Un premier projet d'accord est distribué le lendemain à 4 000 exemplaires au départ des cars. Dans les jours qui suivent, 63 % des personnes approuvent le protocole d'accord mais 70 % des agents se prononcent contre la grève. Les discussions se poursuivent au début du mois de juin avec l'intersyndicale, désormais la seule instance reconnue comme interlocuteur par la direction. Le mouvement s'essouffle avec les accords de Grenelle. Certaines mesures importantes sont cependant adoptées comme les conseils d'unité au niveau des services, des départements et des directions présidées par le chef d'unité et composés de membres élus par le personnel. Ces conseils, qui serviront à plusieurs occasions d'instances de médiation, tomberont progressivement en désuétude, du moins dans cette forme.

Pourtant, les répercussions de mai 68 se révéleront durables. À Saclay, comme dans beaucoup d'entreprises et d'organisations, les grèves de mai ont profondément bouleversé les relations sociales entre les directions et les agents, entre les femmes et les hommes, entre les annexes I et les annexes II… C'est un vent nouveau qui souffle sur le plateau. Par ailleurs, un tabou est tombé à Saclay qui n'avait pas vraiment connu de conflits sociaux depuis la fin du règne de Frédéric Joliot-Curie. Les événements de mai 68 s'inscrivent en outre dans un contexte difficile pour le CEA, et tout particulièrement pour le centre d'études nucléaires. Preuve de ces inquiétudes, un dernier mouvement agite le centre le 18 septembre 1968, à l'occasion d'une réunion organisée à Saclay portant sur l'examen des filières programmes . La manifestation organisée apparaît si hostile que des sanctions contre les meneurs et des mises à pied sont un temps envisagées. Puis le calme revient. Les événements de 68 fournissent surtout l'occasion aux agents d'exprimer leurs inquiétudes, d'échanger et de croiser leurs réflexions. Malgré certains débordements inhérents au climat social de l'époque, tous les témoins se souviennent avoir été frappés par *« la qualité des débats qui se déroulaient au sein des directions »*. Les responsables d'unité ne s'y trompent pas, et certains n'hésitent pas à intervenir dans les comités.

## L'abandon de la filière graphite-gaz

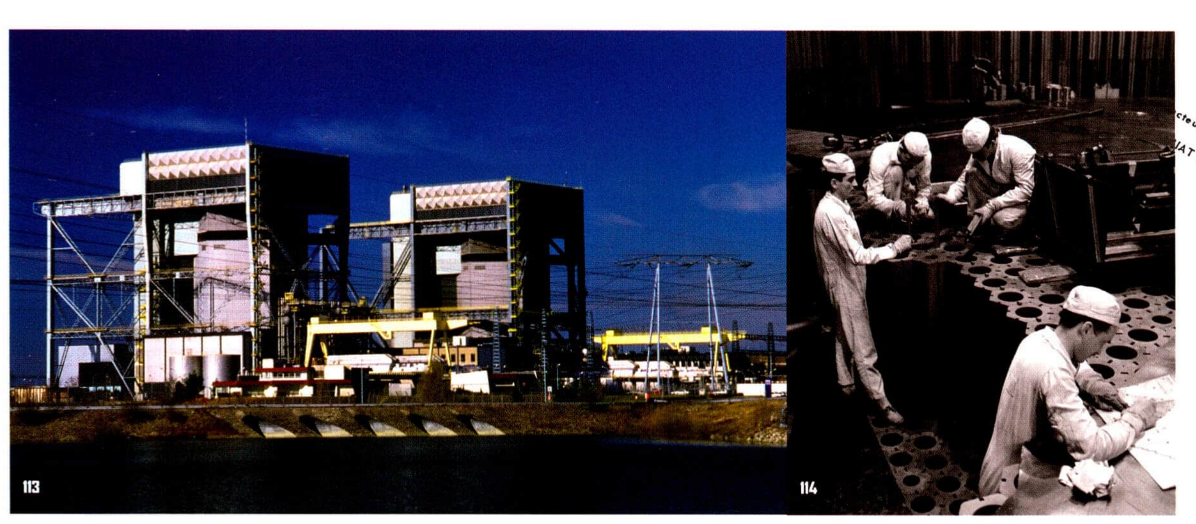
Le grand événement vécu par le CEA en 1969 est l'abandon définitif de la filière graphite-gaz. Cette décision a de fortes répercussions sur le site, dont une grande partie des recherches est alors tournée vers l'amélioration des performances d'une filière longtemps présentée comme la filière nationale.

Les prémices de cette décision remontent à 1964, lorsque le gouvernement crée la Commission Péon (production d'électricité d'origine nucléaire) destinée à évaluer la rentabilité économique de l'électronucléaire à un moment où, rappelons-le, le pétrole est très bon marché. Elle est également chargée d'analyser les différentes filières nucléaires. Un premier rapport rendu en 1965 attire l'attention du gouvernement sur l'augmentation rapide de la consommation de l'électricité en France et préconise de poursuivre le développement de l'électronucléaire en recourant à la filière graphite-gaz. Au regard du fort développement des filières à uranium enrichi aux États-Unis, le PWR (eau sous pression) et le BWR (eau bouillante), la commission affirme néanmoins que *« la possibilité d'explorer complètement telle ou telle filière utilisant de l'uranium enrichi ne devrait pas être exclue »*.

Tandis que les travaux de la commission se poursuivent, des voix s'élèvent pour mettre en doute plus directement la rentabilité de la filière graphite-gaz. Il faut dire que le démarrage de l'usine d'enrichissement de Pierrelatte change la donne, puisque le délicat problème de l'approvisionnement en uranium enrichi est en passe d'être réglé. Dans ce contexte, EDF et le CEA décident de procéder à une étude approfondie et comparative des filières. Le rapport Horowitz-Cabanius publié en 1967 montre une différence significative de coût entre le graphite-gaz et les filières à eau, au profit de ces dernières. Cette supériorité s'explique en partie par des raisons techniques. À puissance identique, la filière graphite-gaz demande de grosses quantités de combustible, ce qui augmente la taille des réacteurs et

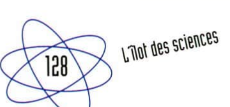
EXAMEN DES FILIERES ELECTRO-NUCLEAIRES
DANS LE CONTEXTE FRANÇAIS ACTUEL

RAPPORT
de
J. HOROWITZ
…cteur des Piles Atomiques
…IAT A L'ENERGIE ATOMIQUE



113 : La centrale EDF de Saint-Laurent-des-Eaux, dernière centrale de la filière graphite-gaz.

114 : Empilement des briques de graphite à la centrale EDF de Chinon.



donc de la structure entière. Par ailleurs, la probabilité d'accident paraît plus importante. « *Dans la filière graphite-gaz, l'utilisation d'uranium impose un combustible métallique. Celui-ci présente intrinsèquement plus de risques que les combustibles à oxyde d'uranium que l'on utilise dans les filières à uranium enrichi ou dans les filières à eau lourde. On peut imaginer des incidents [...] qui pourraient avoir des conséquences sérieuses sur la disponibilité de la centrale* », écrit Jules Horowitz.

Dans le même rapport, le directeur des piles atomiques du CEA observe que « *la continuité et la concentration industrielles ainsi que l'effort de standardisation qui caractérise l'exécution du vaste programme américain de centrales à eau ordinaire contrastent très fortement avec les conditions dans lesquelles se réalise notre programme électronucléaire* ». Il souligne les difficultés liées à la mise en œuvre et la rivalité sourde qui oppose le CEA et EDF, et pointe le fait que si les défaillances enregistrées sur la filière ne résultent pas « *de difficultés liées à la mise en œuvre d'une technologie spécifiquement nucléaire [...], il est certain que ces ennuis auraient pu être évités par une plus grande rigueur dans les études et l'exécution* ». Le constat s'impose : la filière nationale ne saurait rivaliser avec ses rivales à eau pressurisée et bouillante. Jules Horowitz se prononce donc en faveur « *d'une expérience approfondie dans le domaine des centrales à eau ordinaire* ». Ce rapport, qui préfigure déjà l'abandon de la filière UNGG, est mal accepté par ses partisans. Reste qu'il est caricatural d'opposer le CEA, chantre de la filière graphite-gaz, à EDF, partisan des autres filières. La « guerre des filières », comme on a l'habitude de l'appeler, sévit aussi dans chacun des organismes. Au sein du CEA, certains militent en faveur du développement des filières utilisant l'uranium enrichi en raison du haut niveau atteint par la technologie d'enrichissement de l'uranium.

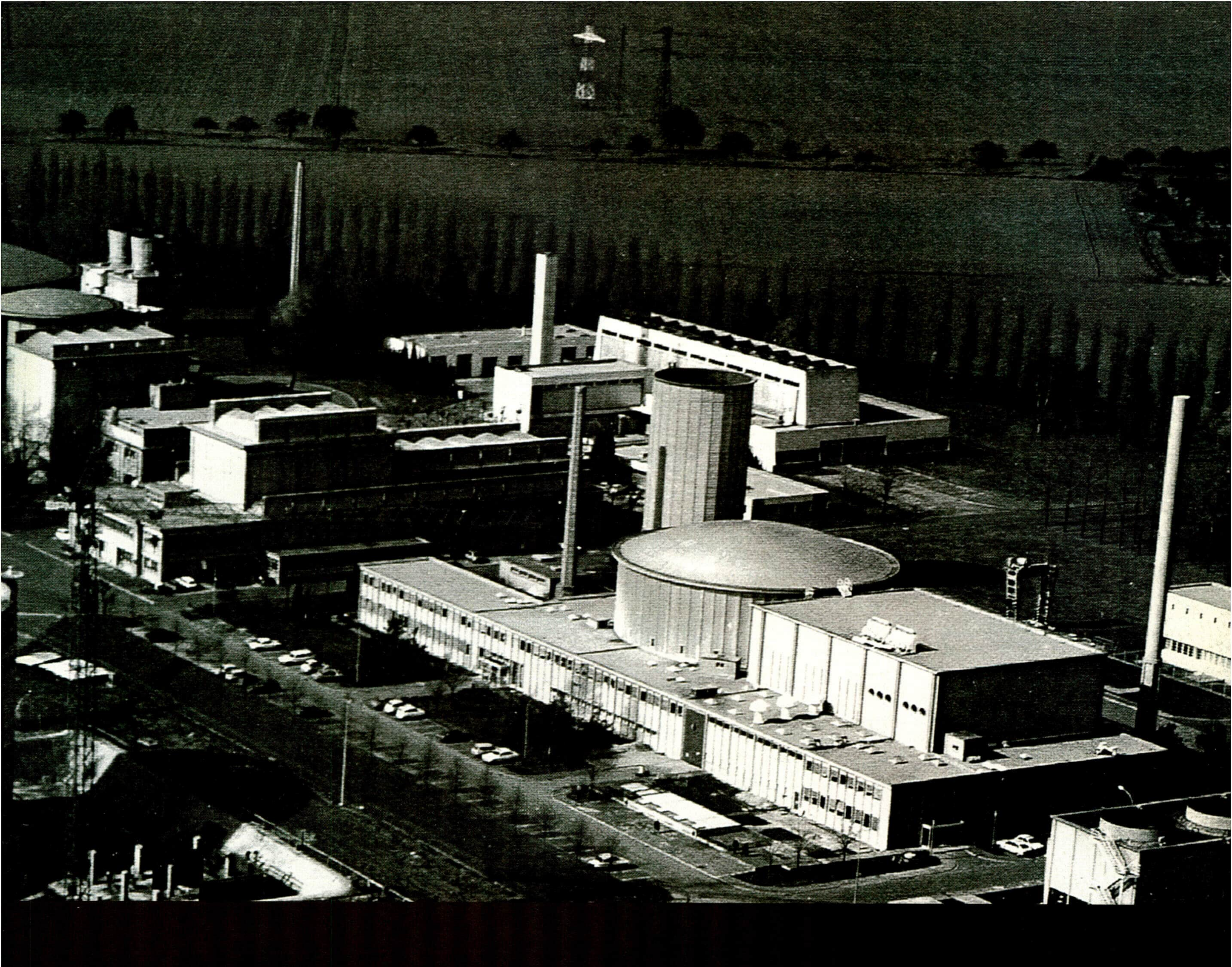
En 1967, une position médiane se dégage. Les pouvoirs publics décident de poursuivre le programme d'équipement avec un projet de deux tranches graphite-gaz à Fessenheim en Alsace, tout en engageant une deuxième centrale PWR à Tihange en Lorraine en collaboration avec les électriciens belges. Mais les événements se précipitent. En 1969, la Commission Péon qui a poursuivi ses travaux exploratoires observe que « *c'est la filière à uranium enrichi et à eau ordinaire qui présente les meilleures chances de conduire rapidement à des réalisations fiables et compétitives* ». Le 17 octobre 1969, lors de l'inauguration de Saint-Laurent-des-Eaux, le directeur d'EDF, Marcel Boiteux, annonce que la centrale de la Loire sera la dernière de la filière graphite-gaz. Le lendemain, celle-ci tombe en panne à la suite d'une fausse manœuvre qui entraîne la fusion d'éléments combustibles. Ce second accident, après celui survenu dans la centrale de Chinon 3 en 1966, qui avait provoqué l'annulation de la visite prévue du général de Gaulle, scelle la fin de la filière graphite-gaz. Un conseil interministériel prononce son abandon définitif le 13 novembre 1969.

Cette décision fait l'effet d'un coup de tonnerre à Saclay, où l'ambiance est déjà alourdie par un conflit qui oppose la direction du centre aux syndicats depuis le 17 octobre. Le jour même où Marcel Boiteux prononce son allocution à Saint-Laurent-des-Eaux, quatre-vingt-dix-huit femmes de ménage reçoivent une lettre de licenciement. La décision a été prise à la suite de la réduction des crédits affectés au nettoyage des locaux du centre. La concomitance de ces deux événements sans rapport entre eux contribue à durcir le climat social. Cinq agents de Saclay commencent le 27 octobre une grève de la faim pour demander l'annulation des licenciements. Les grévistes sont finalement expulsés du site et poursuivront leur jeûne à Palaiseau. Mais l'agitation se poursuit jusqu'en novembre 1969. Lors de la présentation du budget du CEA, les discussions vont bon train sur le projet d'une prise de contrôle de Schneider et de ses activités nucléaires par Westinghouse alors que flottent des rumeurs de licenciement de 2000 agents. Un climat d'incertitude plane sur le centre et alimente la contestation.

Dès l'annonce de la nouvelle de l'abandon de la filière graphite-gaz, les syndicats nationaux lancent un appel à la grève générale. Le 17 novembre, plusieurs milliers d'agents de la région parisienne se regroupent place des Invalides. Jusqu'au début du mois de décembre, le centre vit dans l'effervescence. « *Cette fois les agents de Saclay se sont fortement mobilisés car ils ont eu le sentiment que l'organisme était vraiment menacé* », se souviennent les témoins de l'époque. L'inquiétude est en grande partie légitime. Pour la seconde fois de son histoire, l'existence du Commissariat à l'énergie atomique semble en jeu. La presse s'en fait l'écho. « *Faut-il saborder le CEA ?* », s'interroge Henri Ponchelet dans *le Figaro* du 24 novembre. Il répond à cette question par un ardent plaidoyer en faveur de l'organisme de recherche. S'il reconnaît que « *son développement a été anarchique, sa politique de recrutement inflationniste, ses orientations plus politiques qu'économiques et scientifiques [...], le CEA sait faire beaucoup de choses et pas seulement dans le strict domaine atomique ; il possède en outre un personnel de très haut niveau qui est une richesse potentielle pour la France. Il s'agit de ne pas dilapider cette richesse par simple imprévoyance, ce qui ne veut pas dire que les choses doivent rester en l'état* »... La perte du leadership dans le domaine nucléaire durant cet automne 1969 marque un tournant dans l'histoire du CEA. Nombreux sont les agents qui, à Saclay, ressentent très durement cette situation, perçue de façon soudaine et brutale. « *Dans les labos, rappellent certains, nous avions en permanence le nez dans le guidon. Nous n'avons rien vu venir.* »



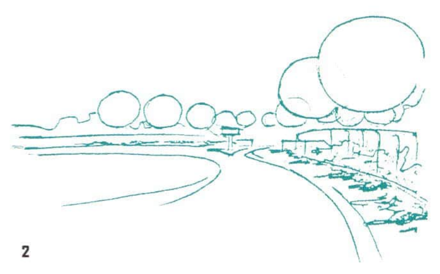
# 1970-1989
# UNE IDENTITÉ

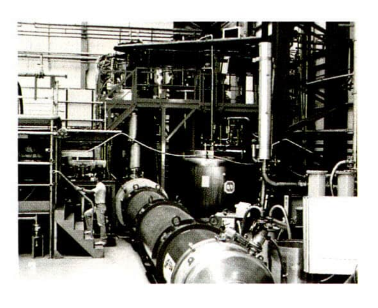


# À DÉFENDRE

# UN TOURNANT À PRENDRE

2









Saclay se relève avec difficulté du traumatisme engendré par l'abandon de la filière graphite-gaz. Dans le nouveau contexte des années 70, marqué par le grand démarrage du programme nucléaire, le CEA passe au second plan dans la course à l'équipement nucléaire qui s'engage. Mais le Commissariat s'efforce de trouver sa place en s'insérant, à partir de 1975, dans le processus de francisation de la filière à eau pressurisée choisie pour l'équipement des centrales nationales, en s'appuyant sur de nombreuses compétences acquises dans des domaines fondamentaux tels que la physique des réacteurs, la mécanique, les matériaux, le combustible et le retraitement.

Le virage industriel pris par l'organisme entraîne un profond changement culturel au sein des laboratoires de recherche appliquée. Ces derniers deviennent des fournisseurs de services et s'orientent davantage vers une fonction d'appui et de soutien scientifique et technologique. Saclay voit aussi sa vocation de grand centre de recherche fondamentale confirmée. Il s'affirme au fil des années comme un véritable pôle de référence dans de nombreux domaines de la physique et de la biologie. Au cours des années 80, de nouvelles interrogations surgissent sur les objectifs de la recherche nucléaire, à la suite du contre-choc pétrolier et de l'accident de Tchernobyl. Le centre voit désormais son avenir lié à celui du secteur nucléaire mais aussi aux politiques nationales et européennes en matière de recherche fondamentale.

**Page précédente :** Photo aérienne de Saclay avec le réacteur Orphée en construction.
**1 :** Inauguration d'Orphée et de Saturne II en présence du ministre des Universités Alice Saunier-Seïté et du ministre de l'Industrie André Giraud, le 26 février 1981.
**2 :** Croquis d'architecte réalisé par Jean-Louis Renucci sous la direction de Paul Andreu, 1977.
**3 :** Station test d'un aimant supraconducteur.
**4 :** Transport de combustibles usés.
**5 :** Examen d'une cavité supraconductrice en niobium massif pour l'accélérateur d'électrons.

## Une redéfinition du rôle du CEA

Au début des années 70, le CEA vit à nouveau un tournant historique. Les équipes traversent une période d'incertitudes qui aggrave un climat social déjà passablement détérioré. Les événements récents révèlent aussi les dysfonctionnements d'une organisation devenue trop lourde et trop rigide. Les pouvoirs publics prennent les devants. Le décret du 29 septembre 1970 modifie l'ordonnance du 18 octobre 1945 pour tenir compte du nouveau contexte. Si les missions traditionnelles du CEA sont réaffirmées dans le cadre des nouvelles conditions industrielles, le texte prévoit que le Commissariat peut désormais, dans les limites fixées par le gouvernement, prolonger certaines activités de recherche et de développement dans des domaines non nucléaires, soit à des fins économiques, soit en vue de participer à des actions d'intérêt général.

Au plan de l'organisation interne, les fonctions de l'exécutif sont clarifiées : l'administrateur général se voit confier la direction générale du CEA tandis que le haut-commissaire assure la tâche de conseiller pour l'orientation scientifique et technique du CEA.

**6** : Manifestation du CEA, 18 octobre 1975.

**7** : Marcoule. Chantier Phénix, février 1970.

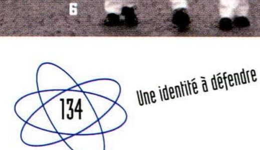
**8** : Réacteur à neutrons rapides Phénix.




André Giraud est nommé administrateur général et Jacques Yvon haut-commissaire, les deux hommes succédant respectivement à Robert Hirsch et à Francis Perrin. Jacques Yvon, dont le parcours scientifique prestigieux s'est en grande partie fait à Saclay, dispose d'une connaissance très précise du CEA. Son rôle sera fondamental auprès d'André Giraud au moment de la mise en œuvre des réformes. De son côté, l'administrateur général, polytechnicien de formation, a de par les fonctions qu'il a exercées dans le secteur pétrolier, une vision globale des enjeux industriels du domaine énergétique. Après Pierre Guillaumat, André Giraud a lui aussi une ambition stratégique à long terme : repositionner le CEA dans la course nucléaire après l'abandon de la filière graphite-gaz.

À cette conjoncture nouvelle, il convient d'adapter l'organisation. Pour répondre aux changements survenus dans les missions et dans les relations du CEA avec l'industrie, EDF et les pouvoirs publics, une nouvelle articulation des structures et des modalités de gestion est mise en place : gestion par objectif, décentralisation de l'exécution, relation de client à fournisseur entre les structures de programmes... Le nouvel administrateur général entreprend une grande réforme d'organisation, dont les grandes lignes sont fixées le 4 décembre 1971. Les activités du CEA sont réparties en sept grandes missions, dont la coordination est assurée par le haut-commissaire : les matières nucléaires, les applications militaires, la recherche fondamentale, la protection et la sûreté nucléaire, les applications industrielles nucléaires, la coopération industrielle non nucléaire et les programmes d'intérêt général. Un noyau exécutif central veille à la cohérence de l'ensemble des politiques scientifiques, techniques, organisationnelles et financières.

L'heure est à l'économie, puisque le CEA procède à d'importantes réductions d'effectifs : 2690 suppressions de postes sont prévues, dont 1560 dans les centres. Pourtant, cette reprise en main au niveau de l'exécutif du CEA rassure le personnel, encore traumatisé par l'abandon du graphite-gaz et par les rumeurs de démantèlement. La nouvelle organisation traduit en effet la volonté de l'organisme de retrouver une place dans le secteur nucléaire, qui s'exprimera dès le début des années 70 par le lancement du programme Champlain, la création du GIE (Groupement d'intérêt économique) d'Eurodif et l'accélération du développement de la filière rapide. Par ailleurs, la place de la recherche fondamentale au CEA trouve une nouvelle cohérence avec la création de l'Institut de recherche fondamentale (IRF) et le lancement de nouveaux projets d'ampleur comme le Grand accélérateur national d'ions lourds (Ganil). Le CEA voit également son rôle renforcé pour certaines missions comme la protection et la sûreté nucléaire.

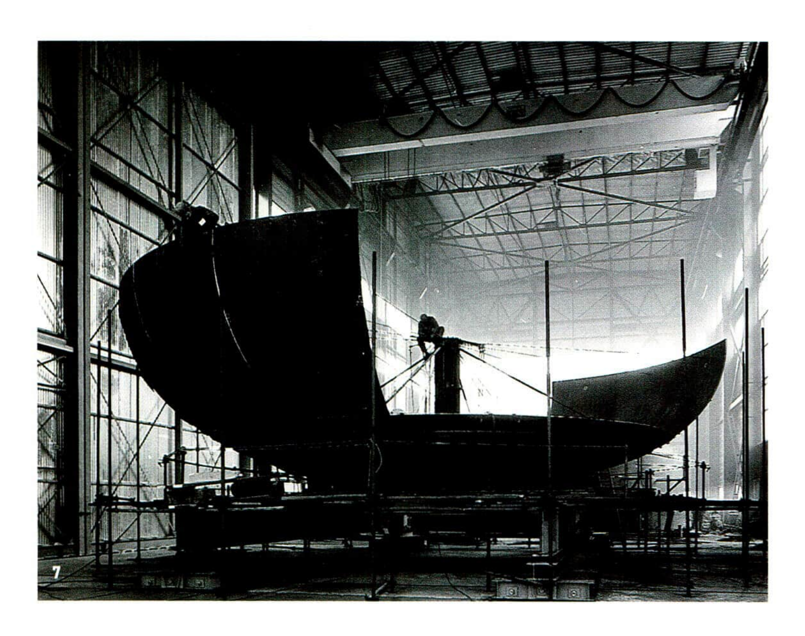


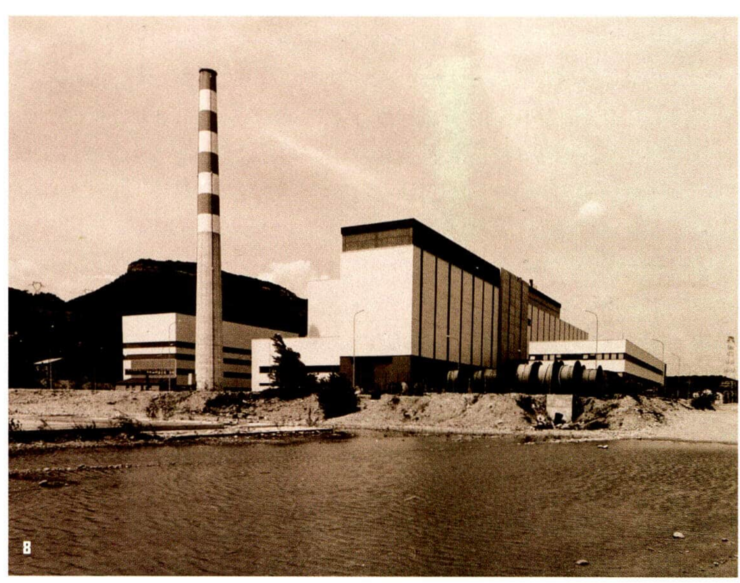


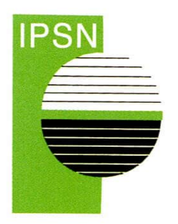

Parallèlement, entre 1972 et 1973, le CEA procède à la transformation en filiales de certaines de ses activités jugées suffisamment rentables, amorçant ainsi une nouvelle politique de transfert de compétence vers l'industrie. Mais cette filialisation est aussi une réponse à la limitation draconienne des effectifs qui risque à terme de bloquer toute perspective de développement. Deux filiales concernent directement le centre de Saclay : la Compagnie internationale de services informatiques (CISI) fondée en février 1972, issue du Département informatique du CEA, puis Technicatome en juin 1972, issue du Département de construction des piles qui occupait une place centrale au sein de la direction des piles atomiques.

Mais l'événement qui retient le plus l'attention à l'époque est la création de la société Eurodif qui démarre son activité un mois après le choc pétrolier de 1973. Dès 1971, alors que se profile déjà le développement de l'électronucléaire sous la direction d'EDF et que le choix se tourne vers des filières sous licence américaine, le CEA, sous l'impulsion d'André Giraud, suggère la création d'une usine d'enrichissement de l'uranium afin de garantir l'indépendance nationale et européenne par rapport aux États-Unis, seul fournisseur d'uranium enrichi. Cette proposition aboutit à la création d'Eurodif, puis à l'adoption de la technologie française de séparation isotopique pour la réalisation de l'usine multinationale du Tricastin. Le CEA comprend, à cette époque, qu'il dispose d'atouts stratégiques dans le domaine du cycle du combustible, à savoir l'enrichissement isotopique et le retraitement des combustibles irradiés.

En 1973, la conjoncture change brutalement avec la brusque augmentation du prix du pétrole décidée par l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) suite à la guerre du Kippour. L'ère du pétrole bon marché s'achève et la facture pétrolière française passe de 15 milliards de francs en 1972 à 52 milliards en 1974. Cette situation met en péril l'équilibre et la croissance économiques de tous les pays importateurs de pétrole. L'énergie nucléaire devient, selon les mots d'André Giraud, *« le seul recours significatif possible »*. Les pouvoirs publics décident d'accélérer la mise en route du programme nucléaire. Adopté le 6 mars 1974, le plan Messmer marque le coup d'envoi du développement massif de l'électronucléaire et dote la France des moyens politiques, industriels et financiers pour y parvenir.

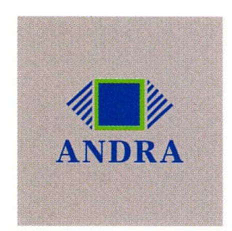

7


8










EDF occupe désormais une place prédominante en tant qu'architecte industriel, à la différence de ce qui s'était passé à l'époque du développement industriel de la filière uranium naturel-graphite-gaz. Mais si le Commissariat à l'énergie atomique perd le monopole des activités nucléaires qui était autrefois le sien, il reste au carrefour d'un ensemble de compétences uniques en matière nucléaire. Pour s'adapter, l'organisme doit clarifier les statuts de ses nombreuses activités. Certaines doivent intégrer davantage le secteur industriel, d'autres, en particulier la recherche fondamentale, doivent rester dans le giron du CEA, tout en bénéficiant d'une plus grande autonomie. D'autres, enfin, relèvent d'une mission d'intérêt général, comme l'enseignement, ou d'expertise, notamment en matière de sécurité. Des propos que confirme André Giraud en 1975 : *« À l'évidence, à chaque type d'activité correspondent des règles de gestion, parfois même une structure juridique, qui lui garantissent les meilleures chances de réussite. C'est pour donner aux divers éléments qui constituent le CEA la possibilité de se développer dans le cadre plus adapté que, conformément aux décisions du gouvernement, de nouvelles structures ont été mises en place. »*

Entre 1975 et 1976, le CEA entre dans une deuxième phase d'évolution organisationnelle. En 1975, l'Institut de recherche fondamentale (IRF), dont les structures avaient été dessinées dès 1971, est officiellement créé et regroupe, sous la direction de Jules Horowitz, la physique et la biologie. Cette étape correspond à la nécessité de différencier la recherche fondamentale de la recherche appliquée. Cette structure a aussi pour objectif de renforcer l'organisation et la cohérence en donnant aux laboratoires concernés l'autonomie indispensable pour mener de grands programmes scientifiques, sans qu'ils soient pour autant coupés du reste du CEA. *« Il s'agissait aussi en quelque sorte d'une reconnaissance de la place centrale de la recherche fondamentale. Cela a permis également de lui donner une meilleure visibilité et de mettre l'accent sur son originalité au sein du CEA »*, observe Robert Deloche.

Avec l'essor programmé du parc nucléaire français, il devient urgent de mettre en place une autorité de sûreté compétente capable de contrôler les centrales nucléaires, depuis leur construction jusqu'à leur exploitation. En 1976, le rôle d'expertise du CEA en matière de sûreté est pleinement reconnu avec la création de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) mis en place à partir de l'ancien Département de sûreté nucléaire. L'IPSN, basé sur le site de Fontenay-aux-Roses, jouera, aux côtés de la Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN), un rôle fondamental dans le contrôle de la construction et de l'exploitation des centrales et dans la définition de la doctrine française de sûreté nucléaire.




**9** : Piscine d'entreposage à La Hague.



La COGEMA (Compagnie générale des matières nucléaires) est créée en 1976. Auparavant, toutes les activités de retraitement et de stockage des déchets étaient assurées directement par le CEA qui avait mis en service en 1958 l'usine UP1 pour répondre aux besoins des réacteurs G1, G2, G3, puis ouvert en 1966 l'usine UP2, sur un autre site à La Hague. Désormais, de l'enrichissement au retraitement, le cycle du combustible est géré par les filiales. Ces activités bénéficient des structures, de la gestion et des règles budgétaires de sociétés à capitaux entièrement publics, donc étroitement contrôlées par l'État, mais pouvant réagir efficacement aux sollicitations d'un marché difficile.

Il s'opère ainsi une clarification entre les activités de recherche fondamentales et appliquées, et les activités industrielles et commerciales. Les premières restent le cœur de l'activité du CEA dont la vocation est d'être un Institut de recherche, les secondes sont regroupées au sein d'un holding CEA Industrie. Cette distinction permet *a posteriori* de mesurer le rôle majeur qu'a joué le CEA dans la constitution d'une puissante industrie nucléaire. Un nouveau groupe émerge. Mais le virage n'est pas aisé à prendre. *« Ces transformations nécessaires, qui ont bouleversé des habitudes et inquiété certains, ne se sont pas effectuées sans craquements »*, observe André Giraud. De fait, cette transition ne fut pas toujours facile à vivre pour le personnel et pour les responsables qui avaient vu le CEA occuper le devant de la scène pendant trente ans.

Cependant, le CEA est entraîné par quelques gros projets avec le développement de la filière à neutrons rapides et la mise en service du réacteur Phénix qui diverge en 1973 à Marcoule, puis la réalisation de la centrale européenne Superphénix mise en service en 1986. Il joue aussi un rôle essentiel dans la construction de l'usine Eurodif et de l'usine de retraitement du combustible PWR. Dans le même temps, la recherche fondamentale continue de se développer avec l'essor de la biologie et de la physique fondamentale qui se traduit notamment par la construction de l'accélérateur du Ganil ou encore par la participation des équipes du CEA à la mise en œuvre au CERN du plus grand accélérateur de particules au monde, le Large Electron Positon Collider (LEP). Des projets auxquels des équipes de Saclay sont étroitement associées.

## Une vocation confirmée

Dans ce nouveau contexte, le centre reste de loin le plus important des centres du CEA, même si ses effectifs ont sensiblement diminué, passant de 5 500 à la fin des années 60 à environ 4 800 agents entre 1975 et 1979. Le site, précise une brochure de présentation, *« regroupe environ la moitié du potentiel du CEA hors direction des productions et direction des applications militaires : 10 unités opérationnelles y ont des éléments implantés et 7 d'entre elles y ont leur direction »*. La mission de recherche fondamentale de Saclay est à nouveau réaffirmée. *« Elle a été et reste la vocation essentielle du centre. »* Deux unités, la Division de physique et le Département de biologie s'y consacrent entièrement et la plupart des autres unités y investissent une part non négligeable de leurs activités dans les domaines de la chimie, de la métallurgie, de la physique des solides, de la thermodynamique…

Pour mener à bien ces études, une infrastructure importante continue de se développer en collaboration avec le CNRS : le Laboratoire Pierre Süe destiné au développement des techniques d'analyse par activation neutronique, le Laboratoire Léon Brillouin auprès du réacteur Orphée et le Ganil implanté à Caen.

De son côté, la recherche appliquée à Saclay est axée sur trois domaines principaux : l'étude et le développement des réacteurs électronucléaires, la séparation isotopique de l'uranium et enfin les applications des rayonnements ionisants à l'industrie et à la médecine. Ces recherches s'effectuent au sein de différentes divisions couvrant le domaine d'activité des anciennes directions : la Division de métallurgie et d'étude des combustibles nucléaires (DMECN), la Division d'étude et de développement des réacteurs (DEDR) qui couvre à peu près les domaines de compétence de l'ancienne Direction des piles atomiques et la Division de chimie. Le site de Saclay abrite aussi les deux filiales, Technicatome et CISI, dont la plupart des salariés sont issus du CEA. La première, qui effectue des études de projet, l'ingénierie des réalisations et les essais de réacteurs, travaille sur de nombreux dossiers avec Saclay. De son côté, la CISI exploite dans le centre ses principaux équipements informatiques.

**10** : Croquis d'architecte réalisé par Jean-Louis Renucci sous la direction de Paul Andreu. La pile EL2 est comparée à Chambord, dans un dessin issu d'un rapport d'enquête réalisé par Paul Andreu, 1977.

10

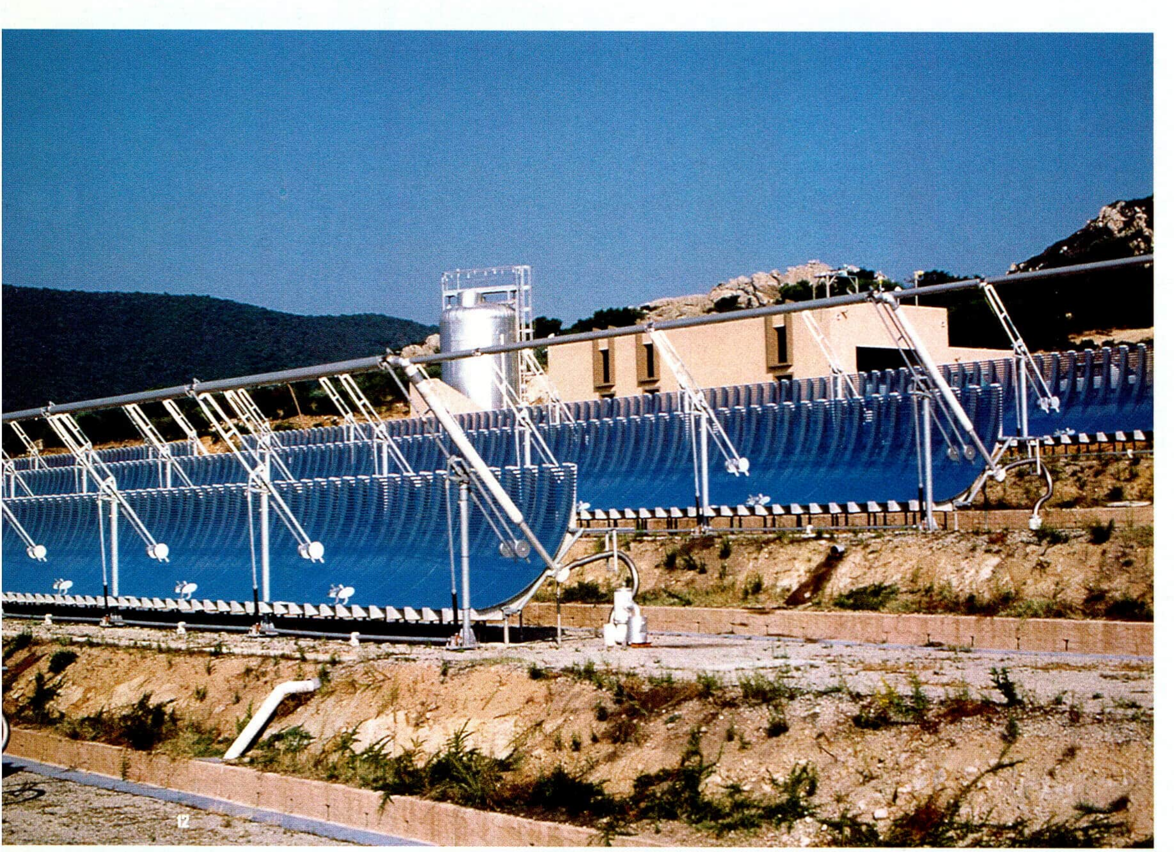
# Les premiers projets de diversification

Après l'arrêt de certains programmes nucléaires à la fin des années 60, la diversification devient une nécessité. Le CEA nomme un responsable, Pierre Ricateau, issu du Service de la physique, qui a développé deux technologies : d'une part, la conversion magnétohydrodynamique de la chaleur en électricité (MHD), étudiée dans le but de réaliser pour EDF une boucle d'essai de prototype de centrale MHD, alimentée par un réacteur nucléaire ; d'autre part le processus de pompage en milieu diphasique (Air Lift). Ce procédé utilise une injection d'air comprimé au pied d'une tubulure cylindrique verticale, pleine d'eau par exemple, pour la remontée en mer profonde de nodules polymétalliques, le ramassage de sédiments en mer d'Iroise ou la pêche industrielle...

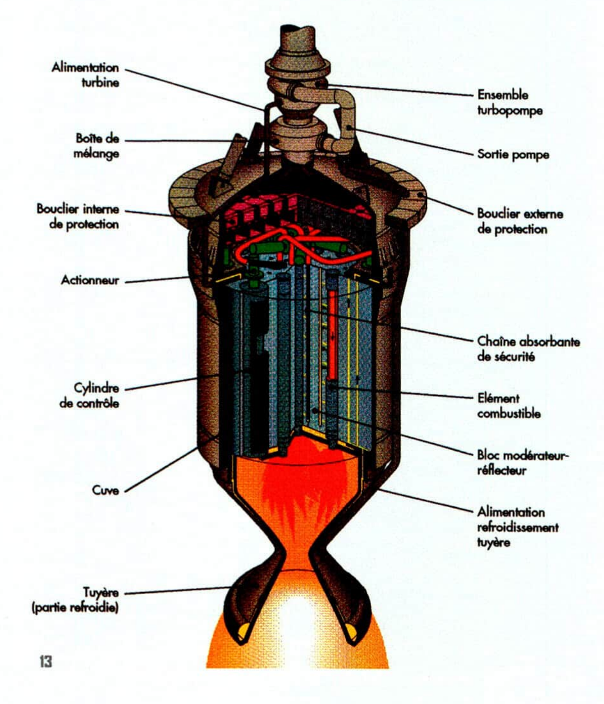
L'équipe d'Air Lift est regroupée avec une autre équipe travaillant depuis 1962 sur la conversion thermoélectronique de la chaleur en électricité, pour former en 1970 le Service d'études énergétiques (SEEn) dirigé par Bernard Devin, puis par Jean Bliaux. Le Groupe de conversion thermoélectronique travaille depuis 1962 sur un projet d'avant-garde : étudier la réalisation de générateurs nucléaires pouvant délivrer l'énergie électrique embarquée à bord de satellites ou de barges pétrolières. Ce projet qui aurait pu alimenter soit l'une des versions du lanceur Ariane V, soit un champ pétrolier sous-marin offshore, est arrêté en 1973 faute de débouchés.

Après l'arrêt de la conversion thermoélectronique, le SEEn se reconvertit en 1974 et centre ses efforts sur deux sujets : l'un nucléaire (LOCA, étude de la rupture d'une boucle primaire de réacteur), l'autre concernant l'énergie solaire. Cette dernière activité aboutit à la réalisation à la fin des années 70 d'une centrale solaire de 100 kWe à Vignola près d'Ajaccio, reliée au réseau EDF corse ; les activités solaires sont ensuite déplacées vers Caradache en partenariat avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

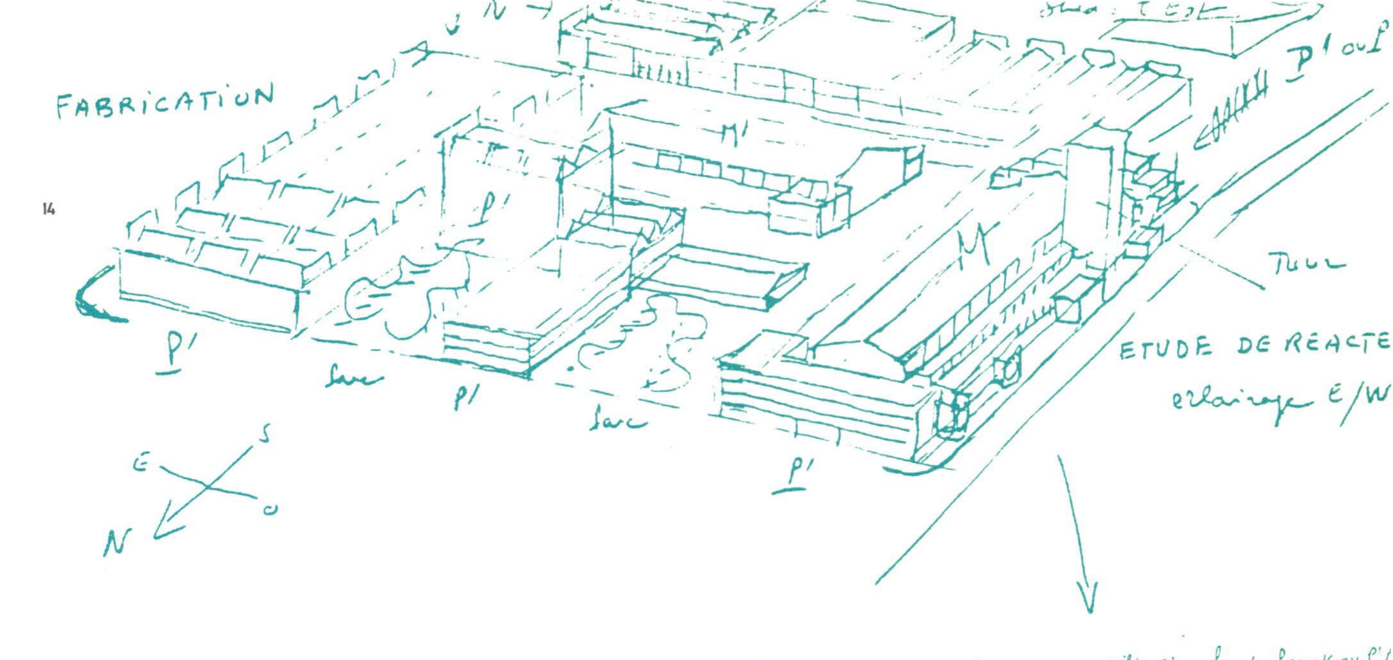



11 : Ramsès II au musée de l'Homme avant son irradiation à Saclay en 1976. Le traitement a permis de supprimer la prolifération de moisissures.
12 : Centrale solaire de Vignola en Corse.
13 : Collaboration entre le CEA Saclay et le Centre national d'études spatiales afin d'étudier un concept de propulseur spatial utilisant un réacteur nucléaire, le MAPS.



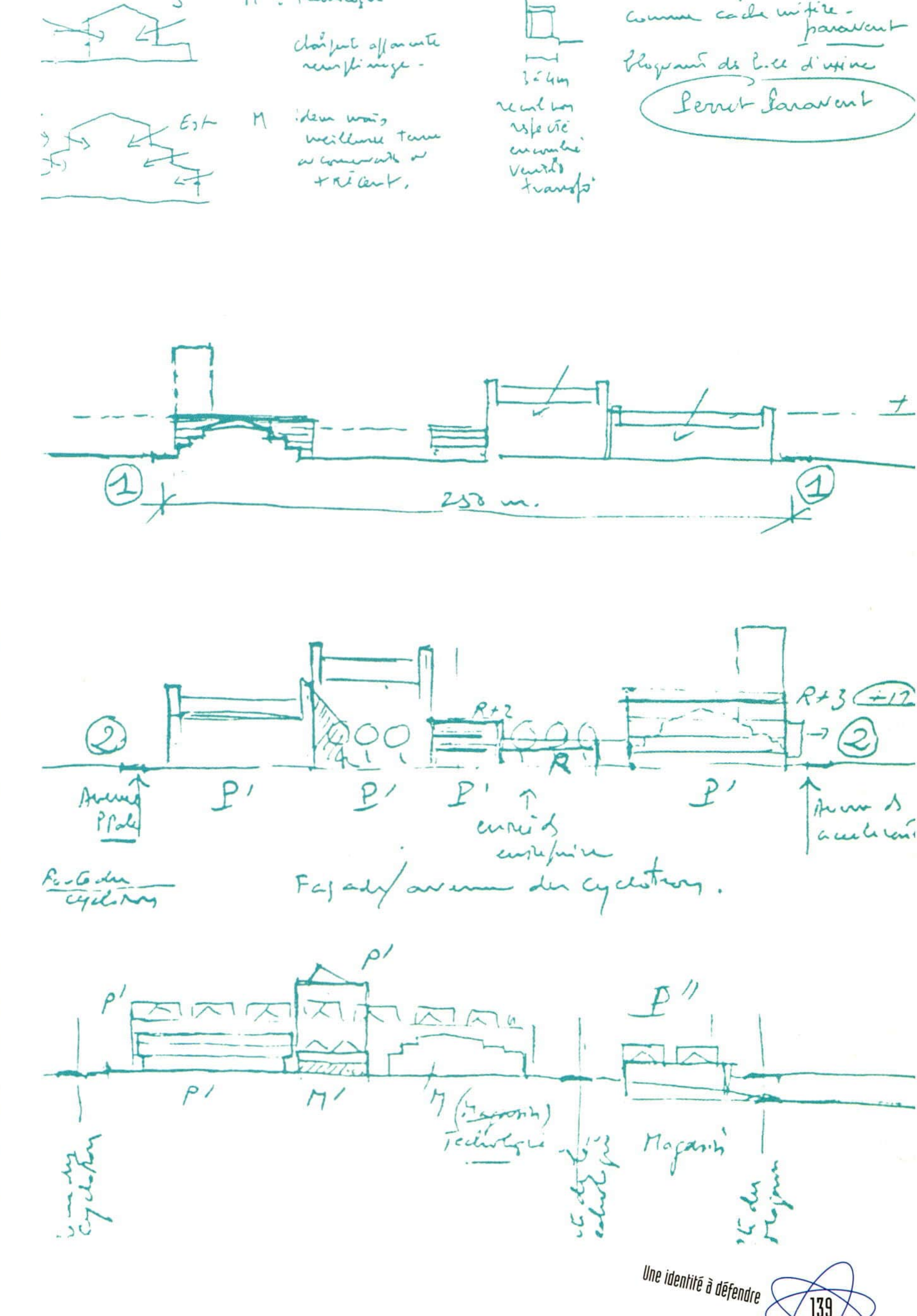



**14** : Différentes vues de Saclay tirées du rapport de Paul Andreu, 1977.

Pourtant, après la grande phase d'expansion des années 50 et 60 où Saclay formait l'épicentre du CEA, les installations expérimentales les plus importantes ont largement migré vers la province à Cadarache pour les réacteurs, les combustibles et la fusion ainsi qu'à Marcoule pour le traitement des combustibles irradiés et des déchets de haute activité. Mais le rôle de Saclay s'affirme dans les études en amont pour la technologie nucléaire et dans la recherche fondamentale. Le centre bénéficie des gros efforts effectués pour aboutir à une meilleure cohérence des programmes de recherche fondamentale, et les collaborations se multiplient avec tous les organismes de recherche français et étrangers.

Avec les années 70 vient aussi l'âge de la maturité. Le centre multiforme qui avait connu une croissance tous azimuts parvient à mieux organiser son interdisciplinarité. Ces nouvelles orientations lui font, par la force des choses, mieux appréhender sa vocation de recherche, le sensibilisent au coût de cette dernière et lui permettent de dégager quelques lignes de force. Après la forte expansion des années 50 et 60, cette période correspond aussi à une phase de réorganisation mise en œuvre par trois directeurs : Paul Bonnet en 1971, Emmanuel Grison en 1975 et Claude Chauvez en 1978. Un véritable travail d'assainissement est mené sur le site en liaison avec le Service de radioprotection et les différents laboratoires. Cette opération de longue haleine impose différentes mesures : destruction de certains baraquements, rénovation ou reconstruction de certains bâtiments, nettoyage de certaines zones, meilleure traçabilité des produits… Et ce ne sont pas les produits radioactifs pour lesquels des mesures de sûreté draconiennes ont été prises depuis longtemps qui posent le plus de problèmes… *« Les chercheurs avaient pris l'habitude d'entasser des produits chimiques dans les placards des couloirs. Un jour, on retrouva un kilo de cyanure, de quoi empoisonner un département ! »*, se souvient Émile Roussel, ancien responsable du groupement matériel et laboratoire chaud qui a conduit une partie de ces opérations.















Affiches de J. Castan.

# Campagnes de sécurité





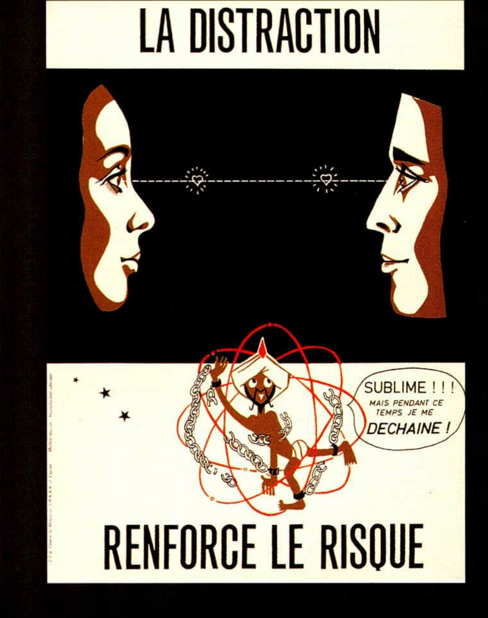


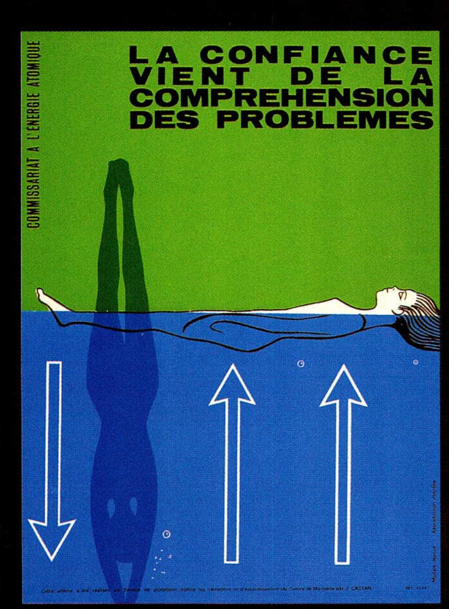


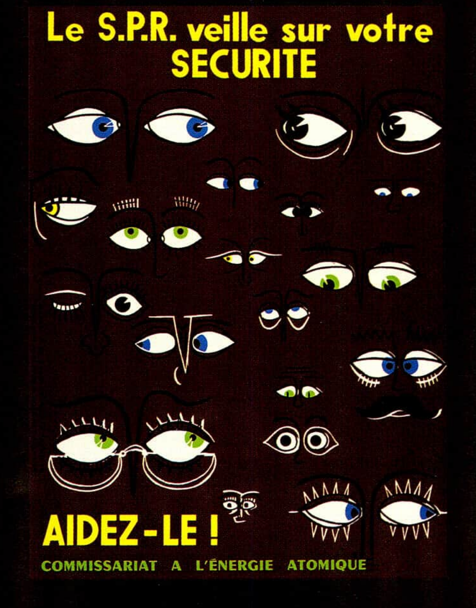


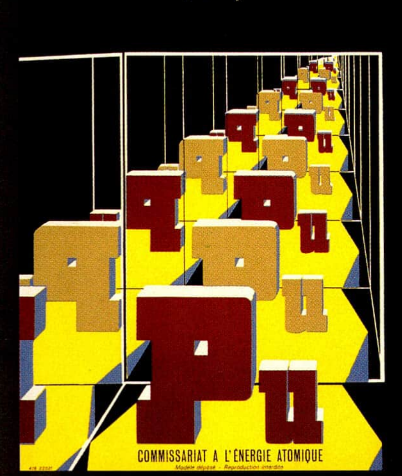




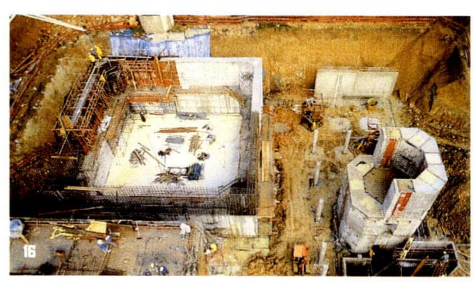



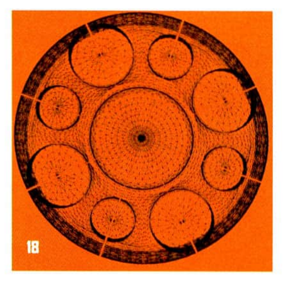

Affiches de J. Castan.
Affiches de Castan et Bardier
(en haut à droite).

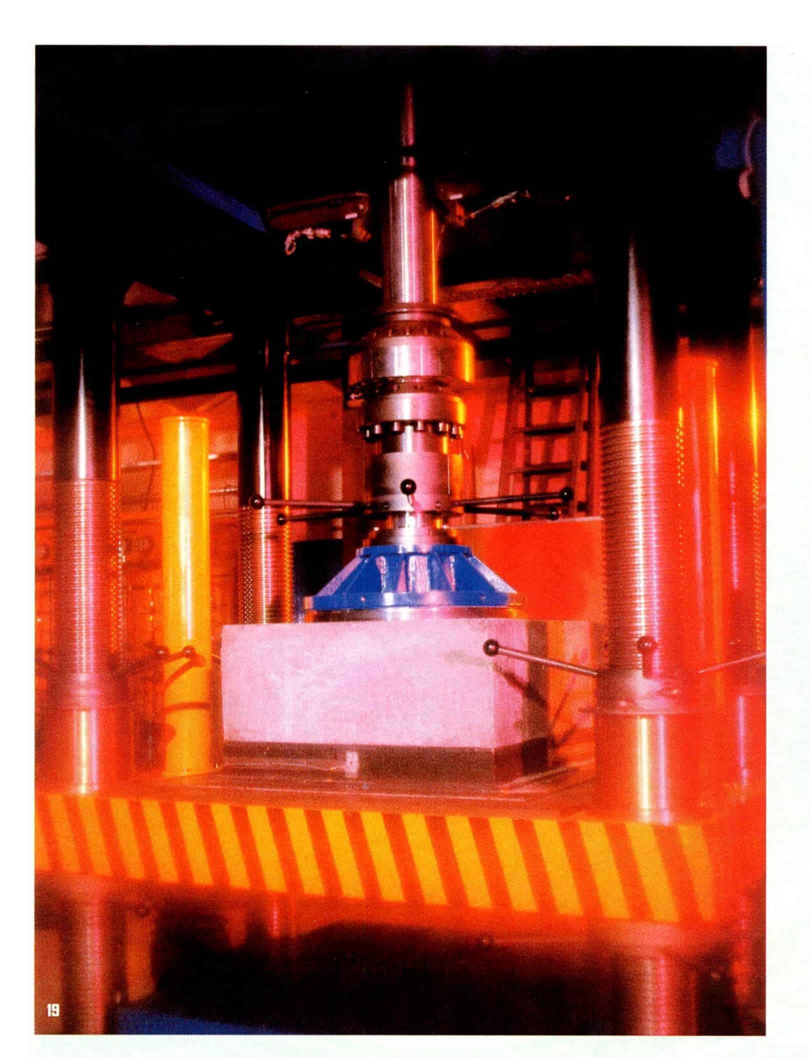
15

# AU SERVICE DU PROGRAMME ÉLECTRONUCLÉAIRE FRANÇAIS


16


17


18


19

## La « gymnastique nucléaire »

Entre l'abandon du graphite-gaz en 1969 et le lancement du grand programme d'équipement, la France hésite quelque temps sur ses choix énergétiques. L'avenir du nucléaire paraît encore incertain étant donné le coût très bas des hydrocarbures. À EDF, c'est le temps de la « gymnastique nucléaire ». L'exploitant, qui semble favorable à la filière à uranium enrichi et eau ordinaire, hésite aussi entre plusieurs options. Il s'intéresse en particulier à deux techniques concurrentes, qui paraissent les plus opérationnelles : la filière à eau bouillante développée par General Electric avec pour licencié Sogerca, filiale de la Compagnie générale d'électricité (CGE devenue en 1991 Alcatel-Alsthom) et la filière à eau pressurisée développée pour Westinghouse avec pour licencié Framatome. C'est finalement sur cette dernière, déjà expérimentée sur les centrales de Chooz et Tihange, que le choix se porte lors de l'engagement des deux tranches de 900 MW de Fessenheim en 1970, puis des trois tranches du Bugey en 1971 ; sans pour autant qu'EDF renonce définitivement à mettre en concurrence la filière à eau pressurisée. De fait, les travaux de construction des premières centrales commencent sans précipitation, laissant aux hommes du nucléaire le temps, on le croit, d'étudier les avantages des différentes filières possibles.

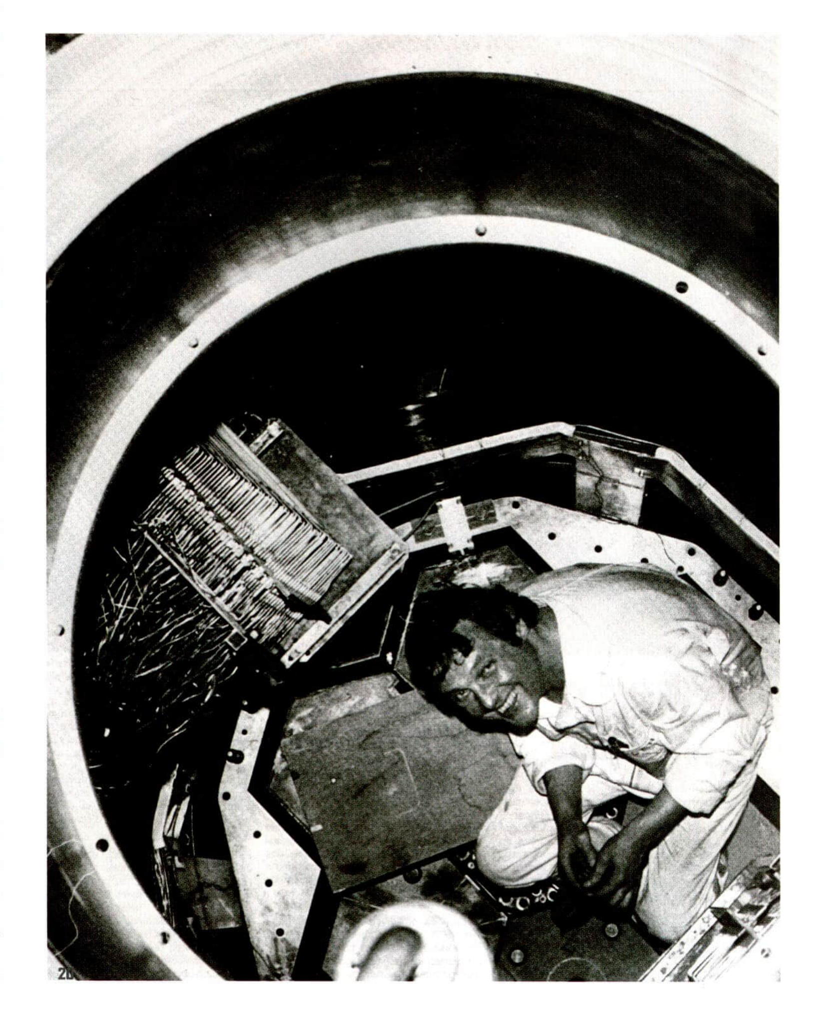
**15** : Aéroréfrigérant de la centrale EDF de Bugey.
**16** : Construction de l'installation Tamaris pour les études sismiques.
**17** : Usine de fabrication d'eau lourde de Mazingarbe.
**18** : De nombreuses structures (cuves de réacteurs, tuyaux) sont décomposées en triangles théoriques. L'ordinateur calcule les déformations et les contraintes au niveau de chacune de ces « mailles fines ».
**19** : Presse dynamique Orion pour des caractérisations de matériaux.

Le CEA, sous l'impulsion d'André Giraud, prend la mesure des implications du revirement de la politique nucléaire. Il s'engage dans une politique de soutien actif au programme électronucléaire en cherchant à encourager une politique française d'équipement nucléaire affranchie au maximum des licences étrangères. Tirant les premières conclusions sur la supériorité constatée des réacteurs à eau ordinaire, le CEA lance un programme de recherche et développement sur ce thème appelé Champlain, et se propose de travailler en coopération avec les détenteurs de ces techniques. *« Il eût été déplorable que le potentiel technique français, dont la qualité est démontrée par des succès répétés dans la propulsion navale, demeurât à l'écart de l'activité industrielle de réalisation des centrales. »* Dans le même temps, profitant des incertitudes quant à l'avenir industriel des filières, le Commissariat poursuit ses études sur plusieurs filières susceptibles de constituer des solutions alternatives aux filières à eau ordinaire.

Les structures du CEA intervenant dans le domaine nucléaire sont alors entièrement repensées. La prestigieuse Direction des piles atomiques, anciennement dirigée par Jules Horowitz, est remplacée par la Division des études et de développement des réacteurs (DEDR) qui coordonne désormais toutes les études des chaudières nucléaires. Elle comprend trois entités : le Département de physique des réacteurs et de mathématiques appliquées (DPRMA) chargé d'effectuer des études théoriques et expérimentales en neutronique et protection des réacteurs, le Service des études mécaniques et thermiques (SEMT), et enfin le Département des réacteurs à neutrons rapides représenté à Saclay par une Section d'étude et de développement des générateurs de vapeur. La DEDR explore toutes les grandes filières à eau, à gaz et à sodium et travaille en liaison étroite avec différentes unités opérationnelles de Saclay et en particulier la Division de métallurgie et d'études des combustibles nucléaires. Pourtant, à la différence de l'ancienne Direction des piles atomiques, la DEDR se cantonne aux études de filières et aux études préliminaires de projets. La réalisation de ceux-ci est effectuée par la nouvelle filiale Technicatome à qui la DEDR apporte également son soutien pendant la phase d'élaboration des projets s'il y a lieu.

La création de Technicatome, issue de la transformation du Département de construction des piles en société anonyme, est le deuxième volet de la politique menée par le CEA au début des années 70. Si sa finalité est *« d'améliorer la phase recherche et développement et la phase d'industrialisation »*, la mise en place de Technicatome découle d'une vraie stratégie, comme l'explique son directeur général en 1982 dans les *Échos du CEA* : *« La direction du CEA cherchait indéniablement à valoriser le patrimoine considérable de techniques et de procédés accumulés au fil des ans et à obtenir dans l'exercice industriel de cette valorisation un juste retour financier de l'effort public de recherche et de développement. Il manquait à cette démarche des mécanismes de complémentarité entre le CEA et l'industrie permettant une meilleure circulation des connaissances et de l'expérience, ainsi qu'une répartition précise des responsabilités. »* De plus, dans la perspective du développement de filières alternatives comme la filière rapide, la création de Technicatome donne un cadre juridique à une collaboration plus étroite entre le CEA et les groupes industriels français et étrangers, tout en différenciant la fonction de recherche et développement de la fonction d'ingénierie des techniques nucléaires.

**20** : Achèvement du montage de l'empilement HTR (High temperature reactor) sur la boucle Carmen 2.



Ce recentrage des activités de recherches nucléaires relance les équipes concernées, d'autant qu'il s'inscrit dans un contexte de fort développement de l'électronucléaire. Parmi les recherches en cours, quelques filières sortent du lot : un PWR français, issu des études sur la propulsion navale, les réacteurs à haute température, les réacteurs rapides à sodium... La force du CEA, et de ses équipes de Saclay en particulier, réside alors dans leur capacité à adapter aux nouvelles filières les énormes connaissances accumulées en neutronique, physique des réacteurs, thermodynamique, thermomécanique, matériaux et corrosion. De même, les installations du CEA, souples d'utilisation, sont rapidement reconverties pour se plier aux demandes des concepteurs et des industriels. C'est ainsi qu'Osiris, le Laboratoire d'examen des combustibles irradiés et les laboratoires de Saclay réorientent leurs programmes vers l'étude de nouveaux combustibles, les aciers des cuves, la corrosion aqueuse...

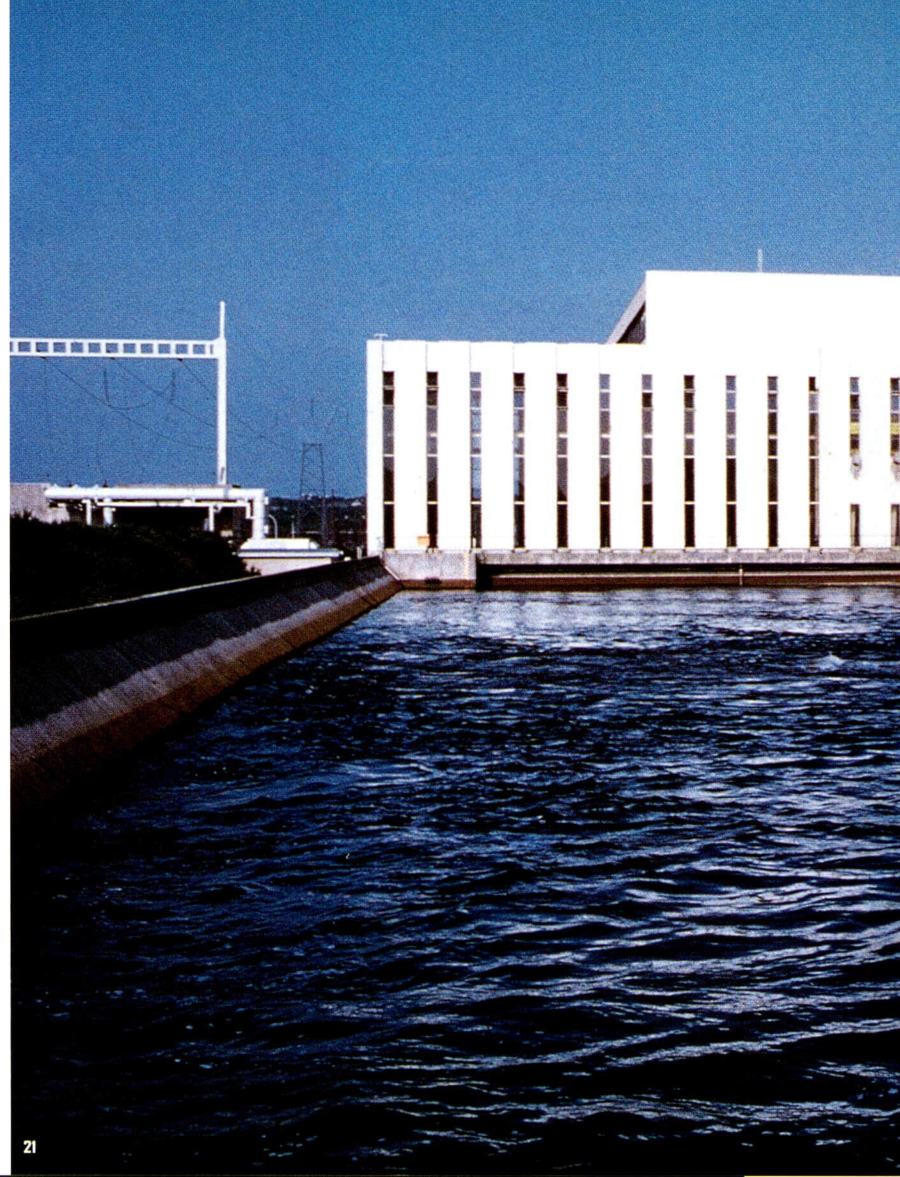
Les équipes de Saclay s'intéressent tout particulièrement à la filière HTR (réacteurs à haute température), développée notamment aux États-Unis par la société General Atomic. Dans la continuité du projet européen Dragon lancé dans les années 60, des recherches sont menées sur ce type de réacteur où le combustible est l'uranium enrichi, le modérateur du graphite et le caloporteur de l'hélium. L'intérêt pour ce réacteur appartenant comme l'UNGG à la filière à gaz, redouble après 1970. *« En France, en 1969, il est apparu logique de transférer l'expérience acquise pour les réacteurs refroidis au gaz à l'étude de la nouvelle filière à haute température »*, précise Daniel Bastien. En 1972-1973, un accord de recherche et développement est même conclu avec General Atomic et de nombreux essais sont effectués dans les laboratoires de Saclay et de Grenoble. Puis, un accord de coopération scientifique est conclu en 1976 avec l'Allemagne qui développait aussi cette filière. Mais en 1979, les études sur la filière HTR sont définitivement abandonnées en raison de difficultés technologiques en particulier au niveau du cœur et du système de production d'électricité (turbines à haute température). Par la suite, le CEA se limite à faire un travail de veille technologique très précieux quand on sait qu'aujourd'hui les réacteurs à gaz sont étudiés à nouveau avec la plus grande attention... et notamment la filière HTR qui présente l'avantage de satisfaire à des critères de sûreté très exigeants tout en permettant d'envisager des applications industrielles liées à la production de gaz à haute température (turbine à gaz, chaleur industrielle).

Depuis Zoé, EL2 et EL3, le CEA avait aussi acquis une vraie compétence technologique et scientifique dans le domaine des réacteurs à eau lourde, qui lui avait permis d'aboutir au stade industriel avec la réalisation de la centrale EL4 à Brennilis. En 1969, un projet de centrale plus ambitieux, EL600, basé sur la filière canadienne, est étudié en France dans le cadre d'un accord conclu entre le CEA et Atomic Energy of Canada Limited. Mais le projet tourne court et aucune suite n'y sera donnée.

De la même manière, les tentatives pour concevoir un réacteur à eau pressurisée de conception entièrement française à partir du Prototype à terre (PAT) conçu par le groupe de propulsion navale du CEA ne donnent pas les résultats escomptés. Jean-Pierre Schwartz se souvient des premières recherches menées en 1971 au sein du Service d'étude des réacteurs et de mathématiques appliquées (SERMA) : *« On essayait de trouver des concepts de réacteurs à eau en s'appuyant sur l'équipe de propulsion navale, la seule à avoir vraiment des compétences en la matière. Ces études nous ont permis d'acquérir les connaissances de base sur la filière. »* Dans le même temps, André Giraud, convaincu de la possibilité d'aboutir à la réalisation d'un réacteur à eau, rappelle Jacques Chevallier. Celui-ci avait quitté le CEA à la fin des années 60, déçu de n'avoir pas pu convaincre la direction de se lancer dans la réalisation d'un réacteur prototype. Mais ces efforts sont un peu tardifs et se heurtent rapidement à l'opposition ferme d'EDF, qui considère le Prototype à terre de réacteur de sous-marin de Cadarache comme un produit de laboratoire. Marcel Boiteux évoque, de façon très ironique, cet épisode dans ses mémoires, *Haute-tension* : *« J'inventais un sigle évocateur : le mille PAT. Ainsi entre le recours immédiat aux brevets américains et le développement chronophage du prototype à terre, le débat se résumait-il dans cette alternative : la licence ou le mille-pattes. Le mot eut, paraît-il, un effet dévastateur. »* Même si ces recherches ne débouchent pas sur le développement d'une filière à eau nationale, ces compétences acquises dans les réacteurs à eau pressurisée seront valorisées dans le domaine militaire, notamment grâce au transfert en 1974 du département de propulsion nucléaire à Technicatome. Au PAT succède la Chaudière avancée prototype (CAP), destinée à la nouvelle génération de sous-marins nucléaires d'attaque, dont la conception a été en grande partie réalisée par le SERMA. Mais par-dessus tout, les connaissances acquises sur ces projets permettront au CEA de se faire reconnaître comme un véritable interlocuteur au moment de la signature des accords de recherche et développement avec EDF, Framatome et Westinghouse.

La filière à neutrons rapides, désormais la seule filière nationale en lice, fait l'objet d'une attention particulière de la part du CEA, qui y voit, après l'échec de l'UNGG, l'occasion de développer une de ses technologies. EDF, de son côté, voit dans la filière rapide des perspectives intéressantes pour le futur de l'énergie nucléaire. *« La position d'EDF au sujet de la filière rapide n'était pas du tout la même que celle sur les études concernant les autres filières menées par*

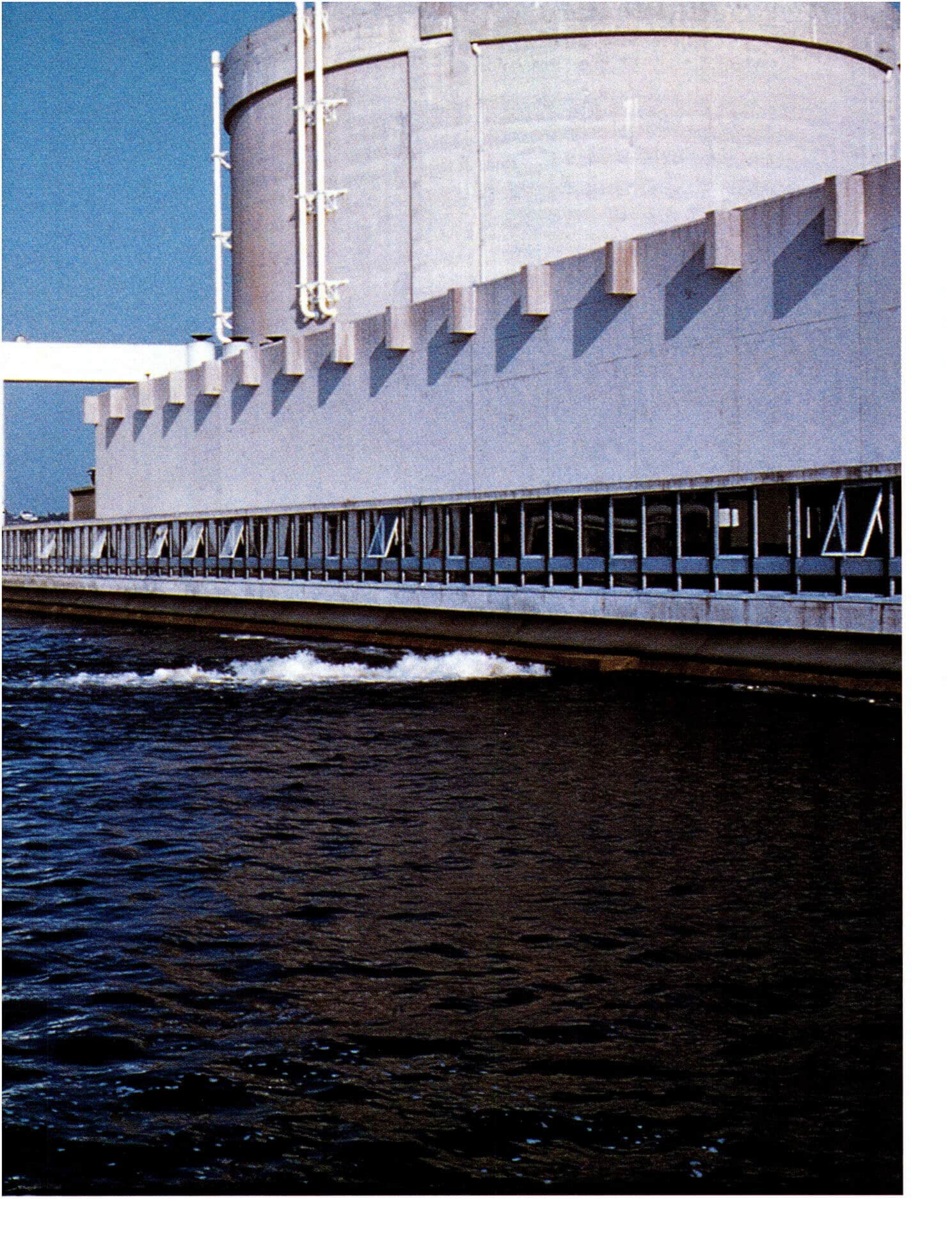
*le CEA. Dans ce cas, il s'agissait de travailler sur la filière de la prochaine génération alors que les autres recherches étaient perçues comme des tentatives du CEA d'empiéter sur le territoire d'EDF* », précise Georges Vendryes. Le premier accord passé après la divergence de Rapsodie en vue de la construction d'une centrale prototype est renégocié au début des années 70 avec une participation plus importante d'EDF que celle prévue initialement. Des équipes intégrées sont mises sur pied pour éviter les problèmes de rivalités d'équipes que l'on avait parfois constatés au moment de la construction des réacteurs UNGG. Cette collaboration se révélera très efficace puisque Phénix diverge à Marcoule le 8 août 1973. La crise pétrolière, qui intervient à peine deux mois après, accélère le développement de la filière qui apparaît plus que jamais comme la technologie d'avenir, car elle est économe en matière première. Son développement s'effectuera désormais dans le cadre européen avec la création le 8 juillet 1974 de la Nersa (Neutrons Rapides SA) chargée de la construction et de l'exploitation de la centrale de Superphénix. Commencée en 1976 à Creys-Malville dans l'Isère, la centrale sera couplée au réseau EDF en 1986.



**21** : Centrale nucléaire de Brennilis, filière à eau lourde.

**22** : Démantèlement de la centrale EDF de Chinon A2.





## Le virage industriel de la recherche nucléaire en 1975

À partir de 1974, le paysage énergétique évolue avec le lancement du grand programme d'équipement nucléaire français. Un premier contrat pluriannuel (CP1) prévoit le démarrage de 16 tranches de 900 MW-PWR, d'autres suivront... Pour honorer ses engagements, EDF met en place une organisation ambitieuse permettant la construction en série des centrales nucléaires par paliers successifs. Dans le même temps, l'entreprise publique renonce définitivement en 1975 à la filière à eau bouillante au profit de la filière PWR, considérée alors comme plus fiable et surtout plus économique que sa concurrente directe. La CGE (Compagnie générale d'électricité), qui défendait la filière bouillante, se voit confier la réalisation des turbines et des alternateurs. Une fois les acteurs en place, le programme d'équipement nucléaire commence à marche forcée.

Les perspectives d'un développement massif de l'industrie nucléaire française changent la donne. Elles ouvrent la voie à une stratégie industrielle à long terme dont l'ambition est de franciser la filière PWR de Westinghouse. Une politique visant à la réalisation de cet objectif se met en place entre les principaux acteurs de l'industrie nucléaire française. Cette fois, le CEA, qui avait défendu l'idée de développer un réacteur à eau de conception française, a tout son rôle à jouer. Il peut s'imposer comme un véritable interlocuteur en offrant son appui scientifique et technologique. « *Année de l'énergie, 1974 a bien marqué la place du CEA comme support de la recherche nucléaire appliquée à moyen et long terme. Ce que nous moissonnons, c'est le résultat des années passées.* » Ces orientations se concrétisent par la signature le 30 décembre 1975 d'un accord de recherche et développement entre Framatome, Westinghouse, EDF et le CEA. Dans le même temps, le Commissariat prend une participation de 30 % dans le capital de Framatome. Pour le CEA, cet accord a une signification majeure puisqu'il marque son intégration officielle dans le processus d'amélioration continue de la technologie des réacteurs à eau pressurisée.

Ce tournant entraîne à nouveau une profonde réorganisation de la principale division en charge des activités nucléaires, la Division d'étude et de développement des réacteurs (DEDR). En 1975, un Département des réacteurs à eau (DRE) est créé à l'image de ce qui avait été fait pour la filière rapide en 1971. L'objectif est à la fois de réunir les compétences et de donner une plus grande cohérence aux études tout en permettant aux partenaires du CEA d'avoir un interlocuteur clairement identifié.

La création de ce département correspond aussi à une volonté de regrouper à Cadarache une grande partie des activités lourdes liées aux réacteurs à eau qui étaient jusqu'alors dispersées sur les sites de Saclay, Fontenay et Cadarache. Le SERMA, héritier du prestigieux Service de physique mathématique des années 60, est le seul service du nouveau département à rester à Saclay. Il se consacre aux études de chaudières nucléaires équipées de réacteurs à eau et des recharges de ces réacteurs, dans les domaines de la physique du cœur et du circuit primaire. Il est aussi responsable des méthodes de calculs correspondantes.

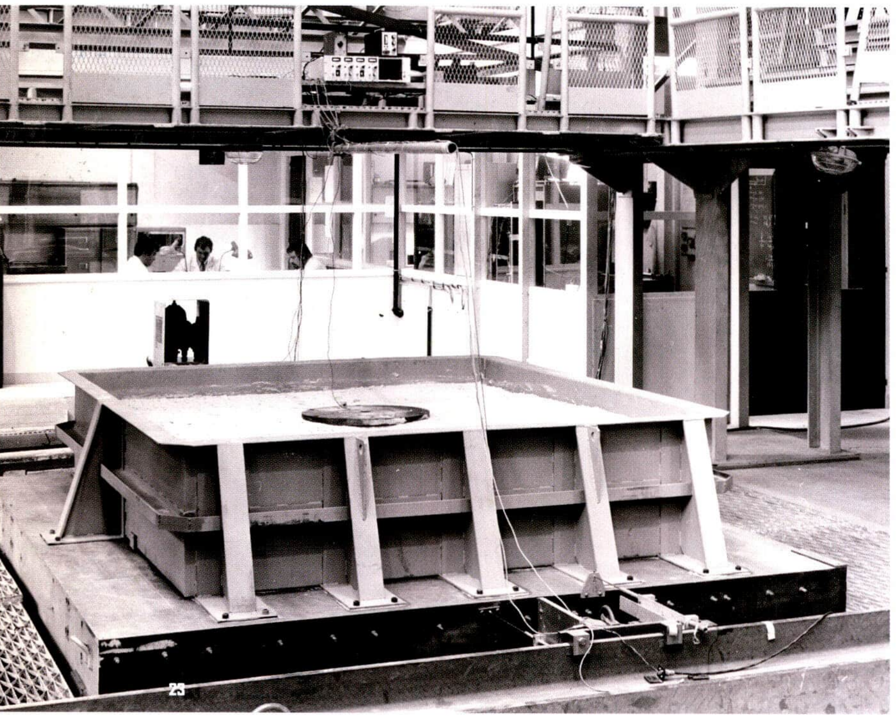
Les unités de Saclay voient leurs activités réorientées vers les études en amont, la conception d'ensemble des chaudières, le soutien aux expériences qui sont réalisées essentiellement à Cadarache... À Saclay, une activité intense de développement de codes et modèles mathématiques caractérise cette époque à la fois pour les chercheurs du CEA et pour l'Institut de protection et de sûreté

nucléaire (IPSN). Leur but est de rendre compte du fonctionnement du cœur et de ses différents composants en situations normales, incidentelles et accidentelles.

Dans le cadre des accords de recherche quadripartite, le CEA entame des études approfondies sur la chimie de l'eau des circuits primaires et secondaires des générateurs de vapeur, et pratique de nombreux essais de composants. Une unité basée à Fontenay-aux-Roses et à La Hague, le Service de la corrosion, qui dépend de la Division de chimie, travaille sur les générateurs de vapeur : le "denting", un problème de corrosion qui se pose au niveau des tubes des générateurs de vapeur et les fragilise. *« Le service avait une certaine antériorité dans le domaine car les premières études réalisées par Henri Coriou avaient mis en évidence sur les premiers réacteurs à eau pressurisée les problèmes de fissuration sous contrainte dans l'eau à haute température de l'Inconel 600, l'alliage utilisé par Westinghouse dans la fabrication des générateurs de vapeur. Au départ, les résultats enregistrés par le CEA furent contestés, mais le nombre croissant des fissurations observées entraîna la mise en oeuvre d'un programme de recherche en 1977 auquel le CEA fut étroitement associé »*, précise Gérard Pinard-Legry, ancien responsable du service. Ces études menées en collaboration avec ses partenaires aboutiront à l'adoption de différentes mesures pour diminuer la corrosion et au choix d'un nouvel alliage, l'Inconel 690. À partir des années 90, EDF procédera progressivement au remplacement de tous les anciens générateurs de vapeur.

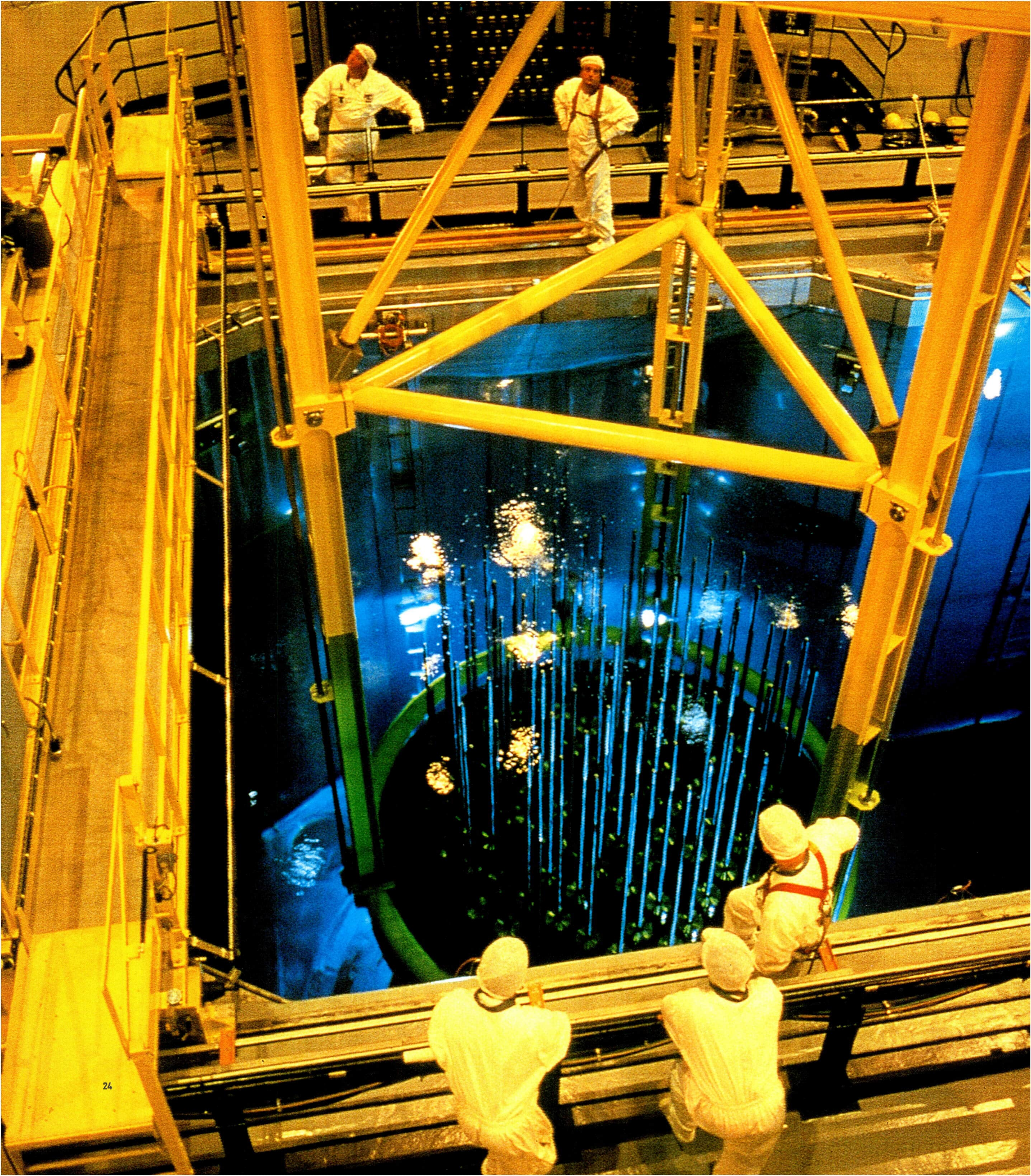
**23** : Table vibrante Vésuve pour l'étude de la résistance des matériaux aux séismes.

**24** : Le réacteur à eau préssurisée de la centrale EDF de Civaux.



De son côté, le Service des études mécaniques et thermiques (SEMT), héritier du Service de construction mécanique qui s'était distingué par ses nombreux travaux sur le graphite-gaz, réoriente entièrement ses activités à partir de 1971 sur les réacteurs à haute température et les réacteurs à eau pressurisée. *« Ce fut un véritable tournant pour notre unité qui a vraiment cherché à développer tout ce qu'elle pouvait. C'est comme cela que nous avons développé une activité importante dans le domaine des codes de calcul sous l'impulsion d'Alain Hoffmann et Michel Livolant »*, précise Jean Rastoin, ancien responsable du département. En 1975, il est transformé en Département des études mécaniques et thermiques (DEMT) et devient l'un des piliers de la division d'étude et de développement des réacteurs. C'est aussi le seul département d'importance de la division installé à Saclay qui concentre, avec le SERMA, une majorité d'études réalisées pour la filière PWR. Il s'articule à l'époque autour de trois services : le Service d'études de systèmes, le Service d'études énergétiques et le Service de mécanique et thermique des structures.

Dès le début des années 70, le DEMT se dote de puissants moyens d'essai et de dépouillement permettant d'étudier le comportement des structures sous contrainte : tables vibrantes, presses, bancs d'essais de fatigue, boucles d'essais à gaz et eau. Parmi les installations créées à cette époque, on peut mentionner : la boucle Safran mise au point avec Framatome, la boucle Carmen pour les réacteurs à haute température, la table vibrante Vésuve. C'est aussi à cette époque que sont développés les premiers programmes qui résolvent les problèmes les plus complexes de résistance des structures, de vibrations, de transferts thermiques et d'écoulement des fluides. Cette activité intéresse particulièrement le Département de sûreté nucléaire, transformé en IPSN en 1976, qui confie au DEMT de nombreuses expertises. Le DEMT travaille sur des projets aussi variés que le calcul de structure des réacteurs rapides, la résistance au « fouettement » des canalisations de vapeur ou d'eau pour la filière à eau pressurisée, le comportement du bâtiment d'une centrale sous l'impact d'un avion. Il réalise aussi des travaux pour le compte d'autres branches d'activités : l'armement naval ou la SNCF...





**25** : Paris la nuit.
Le virage industriel de la recherche nucléaire correspond à une attente de la société qui consomme de plus en plus d'énergie.

C'est à partir de cette époque que le DEMT met en œuvre une démarche de simulation s'appuyant à la fois sur des essais et des calculs. La mise en œuvre du calcul nécessite le développement d'un patrimoine très important de codes de calcul. Ceux-ci, écrits en langage de programmation évolué, représentent environ 5 millions d'instructions dès la fin des années 80. Ces codes couvrent tous les domaines de la physique des réacteurs : neutronique (Saphir/Apollo), mécanique (Castem 2 000), thermohydraulique du cœur (Flica), protection (Promothée/Tripoli), et continuent d'être développés et utilisés aujourd'hui.

Durant cette période, un véritable tournant culturel s'amorce au sein de l'organisme, qui, sans perdre sa vocation de création, doit s'intégrer à une grande aventure dont le leadership est industriel. Il lui faut proposer services et assistance, et donc démontrer son savoir-faire et valoriser ses compétences. Les responsables prennent peu à peu conscience du profond changement culturel qui s'opère. *« Nous avons appris à nous battre pour exister »* répètent-ils. Même si ces adaptations nécessaires se déroulent dans un contexte de forte expansion nucléaire, l'apprentissage de ce nouveau rôle de fournisseur de services ne se fait pas sans tâtonnements. *« Certaines unités ont eu plus de mal que d'autres à s'adapter »* reconnaissent des responsables.

Le CEA peut s'appuyer, durant cette époque, sur des unités de compétences « transverses » capables de maîtriser des sujets et des projets très divers : il peut ainsi répondre à des demandes multiples, donnant parfois une impression de travail « haché », car coordonné par d'autres. Il apprend à élargir sa gamme de services et à diversifier son offre. Une politique qui s'avérera tout à fait justifiée lorsque les accords de recherche avec EDF et Framatome s'arrêteront dans la seconde moitié des années 80 avec l'achèvement de la francisation des réacteurs à eau pressurisée, concrétisée par l'élaboration du palier N4 mis en œuvre dans les deux centrales de Chooz B et Civaux.

Il est difficile d'apprécier la contribution technique et scientifique du CEA au processus de francisation de la filière des réacteurs à eau pressurisée, en raison de l'imbrication de ses recherches avec celles des autres partenaires et du rôle majeur joué par Framatome et EDF dans la conduite du programme nucléaire français. Pourtant, les apports du CEA ont été multiples dans le domaine de la physique des réacteurs avec la mise à disposition de moyens de calcul et d'étude complexes permettant des analyses très fines des performances des réacteurs, dans le domaine thermo-hydraulique et de la qualification du combustible où le CEA a mis à disposition ses moyens d'essais uniques : réacteurs, laboratoires chauds et boucles d'essai. Le CEA a également joué un rôle majeur à travers l'IPSN pour améliorer avec EDF et les pouvoirs publics la sûreté du parc nucléaire. Enfin, par culture et vocation, le CEA a fortement contribué à la francisation de la filière américaine en fournissant notamment aux industriels l'assise scientifique indispensable pour peser lors des négociations avec Westinghouse : *« Tenant de l'indépendance nationale depuis sa création, elle a joué à l'origine le rôle d'aiguillon de la francisation en rappelant à tous qu'il fallait exploiter le savoir-faire national accumulé dans le domaine du nucléaire »*, estiment certains.

# SAFRAN, une première association CEA-Framatome

S'adressant à la société Framatome, le ministre du Développement industriel écrivait le 9 octobre 1970 : « *J'estime souhaitable que vous ayez recours aussi largement que possible au CEA.* » Et il ajoutait : « *Je désirerais à cette fin que des accords d'assistance technique définissant de part et d'autre un programme cohérent d'études et d'essais soient établis.* » SAFRAN s'inscrit dans la droite ligne de ce vœu, elle en est même la première réalisation concrète. C'est pourquoi son inauguration, le 4 janvier 1973, fut exceptionnellement présidée par l'administrateur général André Giraud et le haut-commissaire Jacques Yvon, en présence des directeurs de Creusot-Loire, de Framatome et de nombreuses personnalités d'EDF.

La boucle SAFRAN (comme SAclay, FRamatome pour l'ANalyse des vibrations) reproduit les conditions d'écoulement de l'eau primaire dans un réacteur à eau pressurisée, au moyen d'une maquette à échelle réduite qui comprend un réacteur simplifié et les circuits d'alimentation en fluides. Elle permet d'étudier le comportement vibratoire des structures internes du réacteur et notamment les vibrations engendrées par les écoulements d'eau à grande vitesse. Cette installation fournit de précieuses indications tant qualitatives par la visualisation des écoulements par caméra rapide, que quantitatives grâce à l'analyse par ordinateurs des signaux fournis par les nombreux capteurs qui équipent la maquette.

**26** : Boucle SAFRAN, installée dans le grand hall d'essais du DEMT, à Saclay.



# À la pointe des recherches sur l'enrichissement de l'uranium

Après le remarquable succès d'enrichissement de l'uranium par diffusion gazeuse pour des objectifs militaires à l'usine de Pierrelatte, le CEA met en œuvre dans les années 70 l'industrialisation du procédé pour alimenter en uranium enrichi les centrales nucléaires civiles. L'usine d'enrichissement européenne Eurodif démarre sa production en 1978. Les perspectives de développement de la production électronucléaire sont telles à l'époque, que le CEA s'intéresse à des procédés avancés, plus économes en énergie que la diffusion gazeuse. L'ultracentrifugation, la séparation chimique et la séparation laser sont explorées à Saclay, Pierrelatte et Grenoble. Après évaluation, parfois à grande échelle, l'ultracentrifugation est abandonnée la première en 1981, puis la voie chimique est arrêtée en 1987. La France décide alors de concentrer ses efforts sur une filière dont le principe physique est extrêmement séduisant : la filière laser.

Les premières études concernant la séparation isotopique par laser, soit sur la vapeur atomique d'uranium, soit sur la molécule d'hexafluorure d'uranium à l'origine des deux procédés SILVA et SILMO, datent des années 70. Leur but premier était de diminuer le coût de l'enrichissement. *« Le potentiel de ces procédés provient de leur sélectivité (enrichissement en une seule étape), leur souplesse d'utilisation, la rapidité du processus d'enrichissement et leur caractère évolutif »*, écrit Noël Camarcat[22]. En 1985, le choix se porte finalement sur la méthode de séparation par laser sur la vapeur atomique d'uranium, jugée plus simple et bénéficiant d'une sélectivité accrue par rapport à SILMO. Dans le procédé SILVA, on crée de la vapeur d'uranium à partir d'uranium naturel métallique puis on envoie sur cette vapeur des faisceaux laser qui ont la capacité d'exciter seulement les atomes d'uranium 235 et de former des ions. Ensuite, les atomes d'uranium 235 sont extraits à l'aide d'un champ électrique et leur accumulation forme le produit enrichi. Ce procédé permet ainsi d'obtenir de l'uranium enrichi en une seule étape, alors que la même opération nécessite 1 400 passages de l'uranium naturel à travers les barrières de diffusion gazeuse de l'usine d'Eurodif.



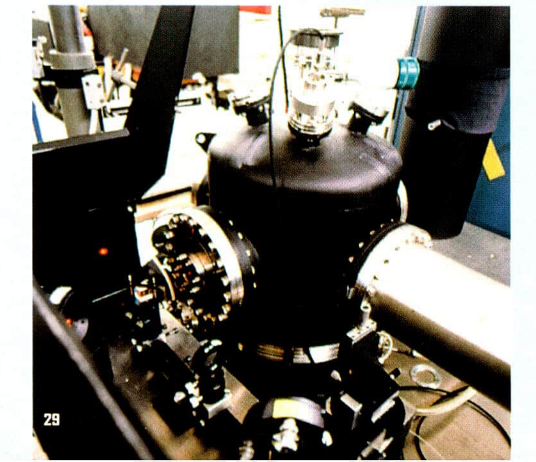
Après plusieurs années de recherche permettant d'améliorer les performances du procédé, le CEA entreprend de démontrer la faisabilité technique du procédé en montant une unité de démonstration, dont l'objectif est de préparer la mise en œuvre industrielle. L'installation Aster implantée à Saclay est mise en service en 1997 mais elle n'aboutira pas à l'industrialisation du procédé initialement prévue avec la Cogema. Les recherches sur ce procédé sont aujourd'hui abandonnées aux États-Unis et au Japon. En France, le programme de faisabilité technique de SILVA doit s'achever en 2003. Caprice de l'histoire, l'ultracentrifugation revient aujourd'hui en force et se présente comme le procédé d'enrichissement le plus abouti. Favori des industriels, il bénéficie des progrès apportés par les matériaux composites de haute performance. Ces tâtonnements montrent la difficulté d'imposer des technologies innovantes face à une technologie mûre.

[22] Noël Camarcat, « Histoire de la recherche sur l'enrichissement », *Actes du colloque du 50e anniversaire du CEA*.

27

28

**27-28-29** : Procédé SILVA pour l'enrichissement de l'uranium à Pierrelatte.


29

# Oklo : un réacteur nucléaire naturel

Du fait de sa période radioactive plus courte, l'isotope 235 de l'uranium décroît, en proportion, plus rapidement que l'isotope 238. Sa teneur dans les mines d'uranium naturel est partout la même, de l'ordre de 0,7 %. C'est du moins ce que l'on croyait jusqu'en 1972. Cette année-là, un beau jour de juin, dans un laboratoire du CEA à Pierrelatte, Henri Bouzigue met en évidence une faible anomalie isotopique d'un composé gazeux de l'uranium. Une traque commence aussitôt, qui permet de remonter la chaîne de fabrication de l'échantillon gazeux. Elle conclut que le minerai d'uranium ayant servi à le préparer avait été extrait de la carrière d'Oklo, au Gabon, à une date précise. Ce dernier point permet de situer le lieu précis de l'extraction. Et stupeur : il manque aux échantillons prélevés sur place la moitié de leurs isotopes 235 !

Les explications les plus folles sont émises, mais grâce aux analyses faites dans les laboratoires d'Étienne Roth, de Michèle Neuilly et de Robert Hagemann, on démontre que cette anomalie résulte de réactions nucléaires spontanément déclenchées en une douzaine de foyers dans le gisement, il y a environ deux milliards d'années. Des réacteurs nucléaires naturels ont donc fonctionné sur Terre bien avant l'apparition de l'homme ! En fait, l'hypothèse de l'existence de tels réacteurs naturels avait été formulée dès 1956 par un chercheur américain d'origine japonaise, le professeur Kuroda, mais elle avait été accueillie avec tant de scepticisme que personne ne l'avait retenue.

À Oklo, les réactions nucléaires se sont produites dans les portions du gisement dans lesquelles la teneur globale en uranium dépassait 10 %. L'eau présente dans les filons joua le rôle de ralentisseur de neutrons et permit ainsi d'atteindre la masse critique. Les chercheurs de Saclay ont pu reconstituer avec précision les conditions de température et de pression qui y régnaient : elles étaient proches de celles rencontrées aujourd'hui dans les réacteurs EDF ! Même la composition isotopique de l'uranium était voisine de celle utilisée dans les réacteurs actuels ! En effet, il y a deux milliards d'années, la teneur de l'uranium naturel en isotope fissile 235 était de 3,7 % ! Les seules différences viennent de ce que les flux de neutrons étaient bien plus faibles à Oklo, ce qui a permis aux réactions nucléaires de durer beaucoup plus longtemps (de 20 000 à 350 000 ans).

Dès la découverte du « phénomène Oklo », la communauté scientifique comprend qu'elle peut en tirer de précieux enseignements sur le comportement géochimique d'éléments rares. Ces réacteurs fossiles sont étudiés comme des analogues naturels d'un stockage géologique de déchets radioactifs. Les résultats obtenus confirment pour l'essentiel les bonnes capacités de confinement des barrières géologiques : l'uranium est resté piégé dans le filon depuis deux milliards d'années. On découvre également que certains minéraux comme les apatites possèdent d'exceptionnelles capacités de piégeage des cations métalliques, qui pourraient être utilisées pour immobiliser les déchets nucléaires.

Malheureusement, tous les résultats ne sont pas aussi clairs. Depuis deux milliards d'années, les radionucléides produits par les réacteurs nucléaires d'Oklo ont décru. Si on ne retrouve pas trace de certains d'entre eux, il est difficile d'apprécier si c'est en raison de leur mobilité propre ou de celle de leurs descendants. Les divers changements hydrogéochimiques subis par le site pendant cette longue période ne facilitent pas l'interprétation.

**30** : Autour de l'édifice bétonné sont concentrées huit zones de réaction.

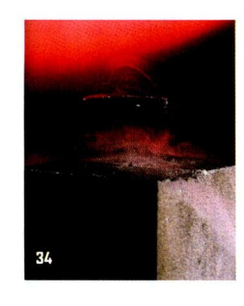
**31** : Dans les profondeurs de la mine, le cœur, strié d'oxyde de fer, de la zone de réaction la plus étudiée.



32

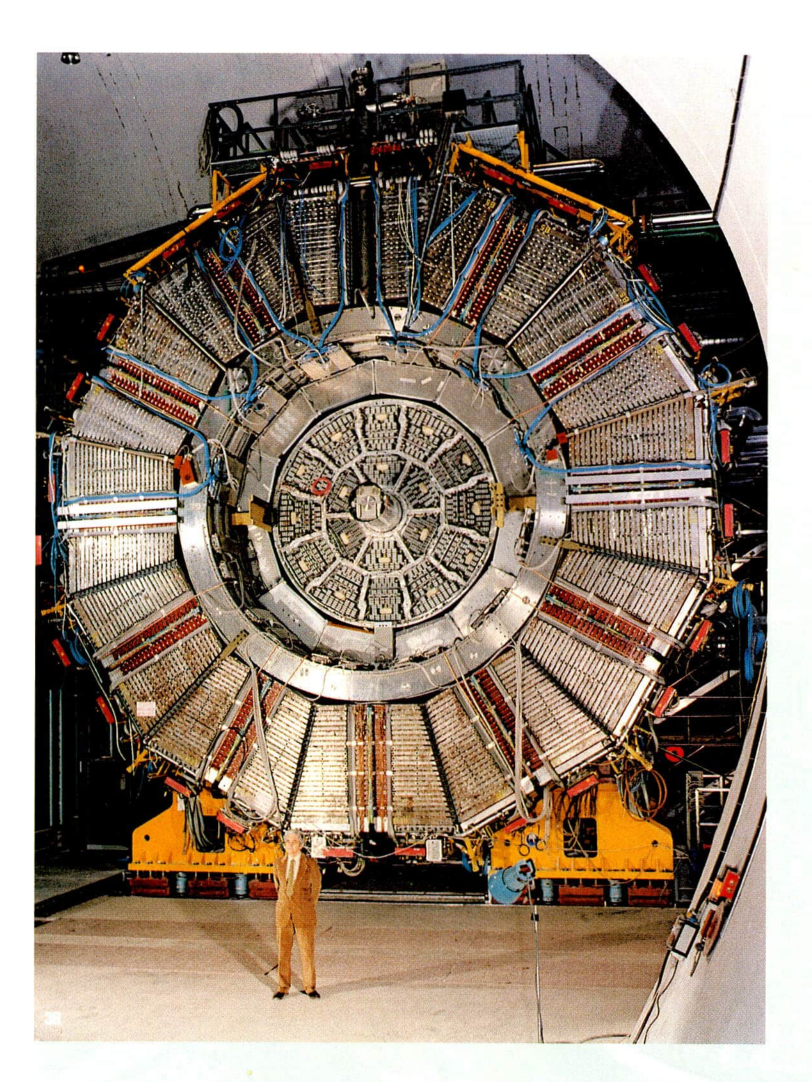
# LES AVANCÉES MAJEURES DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE


33


34


35





## Réorganisation de la recherche en physique nucléaire

En 1971, Jules Horowitz est nommé à la tête de la mission de recherche fondamentale, transformé rapidement en Institut de recherche fondamentale (IRF), à charge pour lui de définir avec les départements concernés une stratégie de développement pour les années futures. Dans le même temps, le CNRS crée en avril 1971 l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) qui rassemble tous les laboratoires universitaires de physique. *« Le gouvernement a estimé nécessaire au moment des discussions sur le CERN d'organiser dans le domaine une planification et une coordination plus rigoureuses dont la réalisation devient de plus en plus urgente pour les physiciens français »*, explique Jules Horowitz, au cours de l'une des nombreuses réunions programme organisées dans ces années-là.

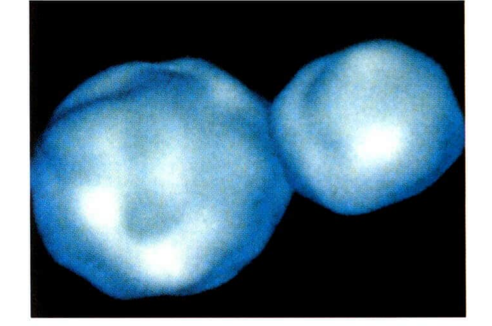
**32** : Le complexe de l'accélérateur Saturne II : 3 sources préinjecteurs, 2 injecteurs, 1 synchrotron et 7 casemates expérimentales. Dessin à main levée de Pierre Praquin.
**33** : Anneau de Saturne II.
**34** : Disque supraconducteur flottant au-dessus d'un aimant, baignant dans l'azote liquide.
**35** : Le site du Grand accélérateur national d'ions lourds (Ganil).
**36** : Le physicien américain Jack Steinberger (prix Nobel en 1988) devant la bobine supraconductrice Aleph.

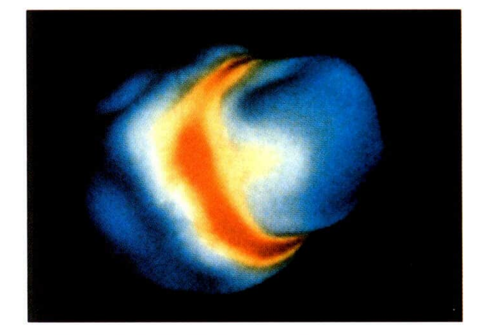
Cette refonte traduit en effet l'évolution qui s'est opérée en quelques années. Après la période d'expansion rapide et un peu anarchique « *où tout était à découvrir* », les avancées majeures obtenues en physique exigent dans tous les domaines de la discipline des moyens expérimentaux de plus en plus lourds et onéreux. Cette situation impose au niveau national, voire international, une concentration des moyens et une meilleure coordination des recherches. Le CEA, compte tenu de sa notoriété et de la place majeure qu'il occupe dans cette discipline, prend une part active à cette réflexion. De son côté, l'IN2P3, qui fait pendant à l'IRF, permet aux laboratoires extérieurs de faire valoir leur point de vue avec plus de force. « *Cet effort de réorganisation doit se faire en collaboration étroite avec l'IN2P3. Il exige un travail d'imagination et un effort d'adaptation qui n'ira pas sans difficulté mais que, pour sa part, la Division de physique a déjà entrepris et est prête à poursuivre activement. Nous considérons, en effet, que cette politique de concentration est indispensable si l'on veut maintenir le haut niveau de nos recherches dans cette discipline* » précise, en 1972, Albert Messiah, directeur de la physique.

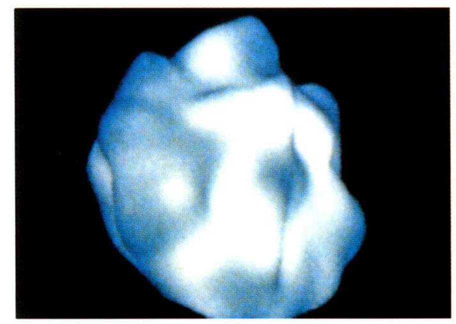
À cette époque, la physique nucléaire, qui semblait être passée à l'arrière-plan avec l'explosion de la physique des particules durant les années 60, fait l'objet d'un regain d'intérêt. En effet, les avancées des dernières années ouvrent de nouvelles pistes de recherche pour l'avenir et l'évolution du parc d'accélérateurs.

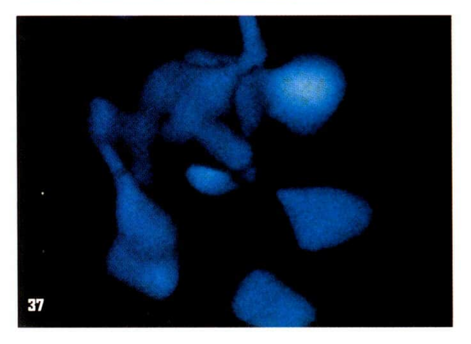
Pour les physiciens, un constat s'impose : si la majorité des recherches nucléaires effectuées durant les années 50 et 60 concernaient l'étude des noyaux au voisinage de leur état d'équilibre et utilisaient des projectiles légers d'énergie modérée, « *vers la fin des années 60, il était devenu évident qu'une compréhension plus approfondie du noyau nécessitait l'exploration d'états très fortement perturbés [...] obtenus soit par l'impact de particules légères relativistes, c'est le domaine des énergies intermédiaires; soit par l'impact de noyaux lourds qui apportent aux noyaux cibles beaucoup de matière nucléaire, d'impulsion, de moment angulaire et d'énergie; c'est le domaine de la physique dite des ions lourds*[23] ».

Ces réflexions débouchent ainsi sur le choix de deux voies d'étude de la structure des noyaux et des réactions nucléaires obtenues par bombardement soit par des particules à des énergies intermédiaires allant de plusieurs centaines de MeV jusqu'à 1 GeV par nucléon, soit au moyen d'ions lourds. Ces deux optiques conduiront à la réalisation de deux grands accélérateurs, Saturne II à Saclay et le Grand accélérateur national d'ions lourds (Ganil) à Caen, dont les études sont engagées au début des années 70. Ces nouvelles orientations viennent conforter la place de Saclay comme pôle de référence pour la physique nucléaire.










**37** : Collision en réalité virtuelle d'un noyau lourd et d'un noyau de cuivre.

Les physiciens de Saclay s'investissent pleinement dans la conception, la réalisation et le montage de Saturne II et du Ganil de Caen, qui dépend administrativement du centre de Saclay. Dans les deux cas, les accélérateurs, fruits d'une collaboration entre le CNRS et le CEA, sont gérés par des laboratoires nationaux exploités par le personnel technique chargé de fournir les faisceaux de particules aux expériences et de maintenir les moyens d'analyse pertinents. Un noyau de scientifiques assure l'animation du laboratoire. Les expériences retenues par un comité scientifique de sélection sont conçues et conduites par des « visiting scientists » qui analysent les résultats à leur retour dans leurs laboratoires.

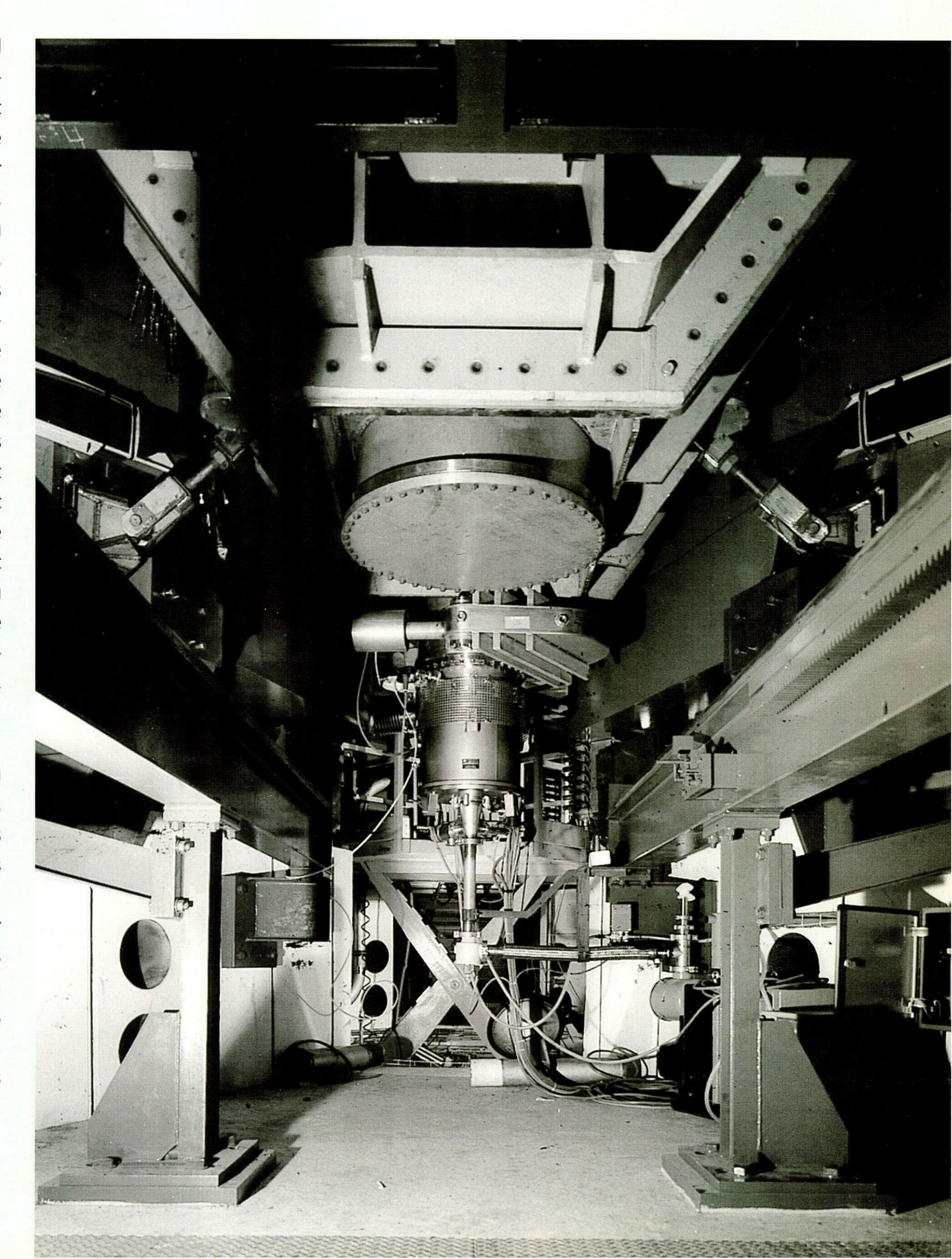
[23] Allocution de Jules Horowitz à l'inauguration du Ganil.



# Un outil de pointe pour la recherche fondamentale : le grand accélérateur national d'ions lourds (Ganil)

En décembre 1972, le groupe de travail commun IN2P3-IRF composé de physiciens et d'ingénieurs élabore un projet où sont tracées les grandes lignes de ce que sera le futur Grand accélérateur national d'ions lourds, le Ganil. Le projet, finalisé en 1975, obtient l'accord du ministre de la Recherche, Michel d'Ornano, grâce à la large implication des équipes communes CEA-CNRS. Le ministre, intégrant le projet dans le plan de relance du gouvernement, décide d'implanter le Ganil dans son fief à Caen, après de larges négociations avec les chercheurs et les collectivités locales. Le Ganil, dont la construction démarre dès 1976, est inauguré en 1982. À partir de cette date commencent les recherches qui sont effectuées en partie dans le cadre du Centre interdisciplinaire de recherche avec les ions lourds (CIRIL), où sont associés les chercheurs du CNRS et ceux du CEA, dont un bon nombre d'agents de Saclay.

Au Ganil, les chercheurs travaillent en particulier sur les noyaux exotiques. Ces noyaux extrêmement fugitifs présentent des nombres de neutrons anormalement grands.
Ils n'existent pas à l'état naturel sur terre. Bien que présents dans certains sites stellaires, comme dans l'explosion de supernovæ, il est nécessaire de les créer artificiellement pour les observer. Ces études permettent d'affiner les modèles théoriques nucléaires.



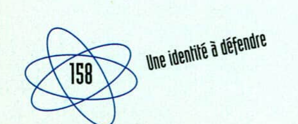
# Saturne transformé pour la physique nucléaire

Saturne II n'est pas un nouvel accélérateur, mais le résultat d'une profonde rénovation de l'ancien synchrotron Saturne utilisé à Saclay de 1958 à 1977 pour la physique des particules élémentaires. L'évolution de cette discipline a entraîné les physiciens à recourir à des gammes d'énergie plus élevées et donc à délaisser Saturne au profit d'autres accélérateurs comme le super-synchrotron du CERN. Au début des années 70, on décide de rénover Saturne pour en faire un outil essentiel de la physique nucléaire dans le domaine des énergies intermédiaires. Mais la transformation complète de Saturne s'avère indispensable car les physiciens nucléaires doivent disposer de faisceaux plus précis et de géométrie plus fine. Les équipes cherchent à conserver un maximum d'éléments, bâtiments, infrastructures, alimentation principale de l'anneau, injection... mais l'accélérateur lui-même est complètement transformé. *« La seule solution pour obtenir une bonne machine consistait à changer complètement l'anneau dans lequel sont injectées et accélérées les particules provenant d'un accélérateur linéaire [...]. Ensuite, il fallait créer un champ magnétique très précis, et changer pour cela tous les éléments magnétiques ainsi que le système de haute fréquence des anneaux »*, explique Jacques Thirion, premier directeur du Laboratoire national Saturne II créé en 1978. De même, l'installation est équipée d'une instrumentation très performante, notamment de quatre spectromètres magnétiques qui *« font l'originalité et la spécificité de Saturne II »*.

Aux yeux des physiciens de Saclay, le grand accélérateur Saturne II remis en fonctionnement en 1978 bénéficie de deux atouts. Il offre la possibilité d'obtenir une variété de particules (protons, deutérons, particules alpha, ions lourds et faisceaux polarisés) et de disposer d'une grande flexibilité du niveau d'énergie. Les hautes énergies d'excitation qui peuvent être apportées aux noyaux permettent d'observer la matière nucléaire dans des conditions extrêmes. Grâce à ses caractéristiques, Saturne II permet une large variété d'expériences à la charnière de la physique du noyau et de la physique des particules. Parmi les domaines de recherche développés auprès de Saturne, on peut citer l'étude des forces entre nucléons, des distributions de matière dans les noyaux, ou de la matière nucléaire dans des conditions extrêmes.

**38** : Démantèlement de Saturne I juin 1977.
**39** : Saturne II en phase de construction en 1978.
**40** : Installation MIMAS au cœur de Saturne II.


38



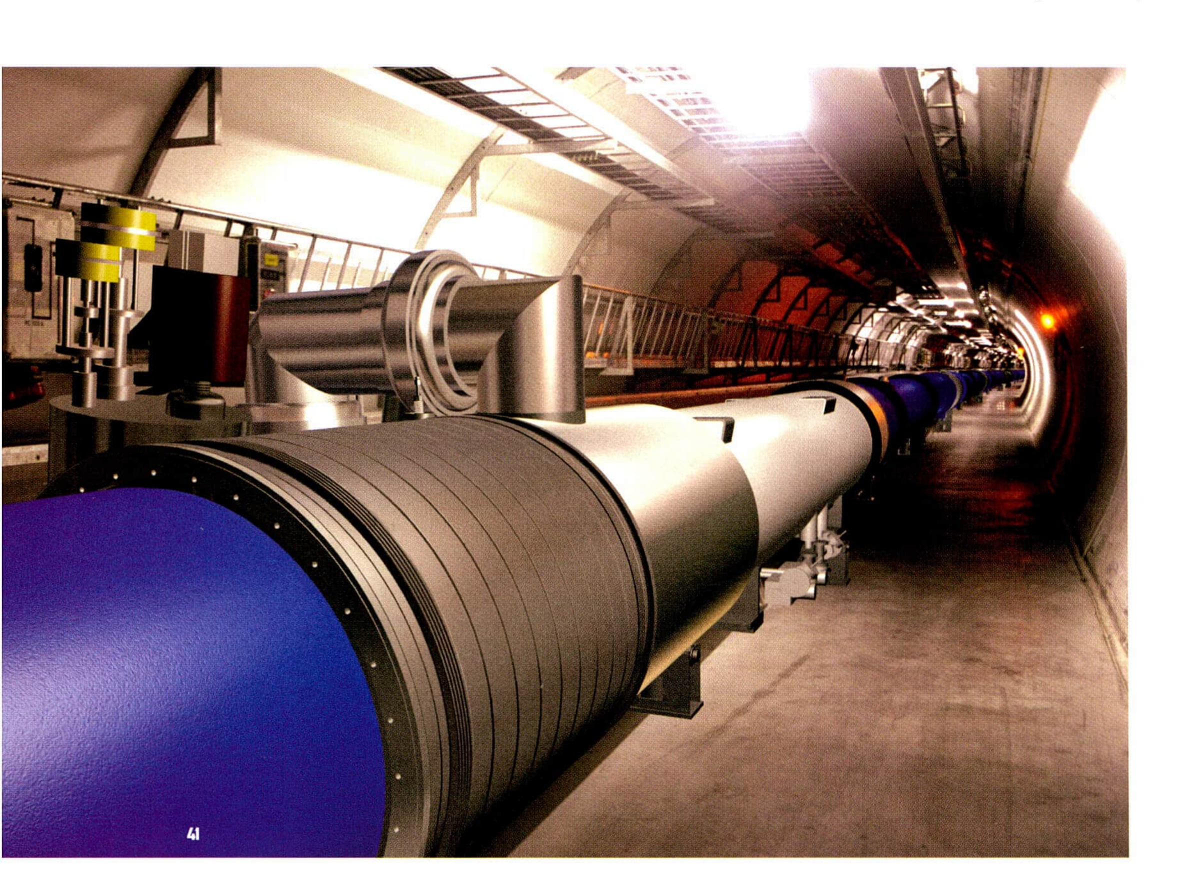
39



40

# L'élan du grand accélérateur du CERN

Depuis les années 70, la connaissance du cœur de la matière ne cesse de progresser, ouvrant chaque fois aux physiciens des particules de nouveaux champs de recherche. Les données recueillies patiemment grâce aux chambres à bulles ont permis d'établir une première classification des particules et d'étudier leurs propriétés. À partir des années 70, les physiciens commencent à s'intéresser à des événements plus rares. Leur but est de mieux comprendre les interactions qui existent entre les particules et, si possible, de les unifier. Sans attendre d'avoir des accélérateurs assez puissants pour les produire directement, les physiciens s'attachent à observer toutes les manifestations possibles de l'existence des « bosons intermédiaires », particules très lourdes vectrices de l'interaction nucléaire faible.




Le Département de physique des particules du CEA participe activement à ces recherches qui s'effectuent toutes hors de France auprès des grands accélérateurs du monde entier : le CERN à Genève, l'anneau Petra à Hambourg, le laboratoire Fermi près de Chicago. Chaque expérience, chaque projet se déroule sur plusieurs mois et impose une organisation sans faille. Dans un premier temps, il s'agit d'avoir une bonne idée d'expérience, puis de déterminer les moyens techniques à mettre en œuvre et de construire un appareillage en respectant les cahiers des charges, les coûts et les délais. À ce stade, toutes les ressources du département sont mobilisées pour livrer l'équipement au jour dit. Dans une seconde phase, l'expérience est réalisée auprès de l'accélérateur, imposant une disponibilité totale du personnel : utilisation jour et nuit de l'accélérateur pendant plusieurs semaines, nécessité de faire face dans l'urgence aux défaillances techniques... Enfin vient la troisième phase, celle de l'exploitation des résultats qui fait de cette discipline un gros consommateur de calculs scientifiques.

Chaque expérience est une véritable aventure scientifique et humaine, la physique des particules étant un domaine très ouvert. *« Nos séjours dans les grands laboratoires étrangers étaient aussi l'occasion de rencontrer les physiciens du monde entier, de croiser et d'échanger les expériences »*, observe René Turlay, ancien responsable du département. Le 21 janvier 1983, plus de 150 physiciens, dont deux équipes de Saclay, se voient récompensés de cinq années d'efforts : à Genève, le CERN annonce la découverte du boson W, dont Glashow, Salam et Weinberg avaient prédit l'existence dans le cadre de la théorie « électrofaible » qui leur a valu le prix Nobel de physique en 1979. Les physiciens de Saclay ont participé très largement aux multiples expériences qui aboutissent à la découverte des bosons Z°, W+ et W-, vecteurs de l'interaction faible sur le super-proton synchrotron.

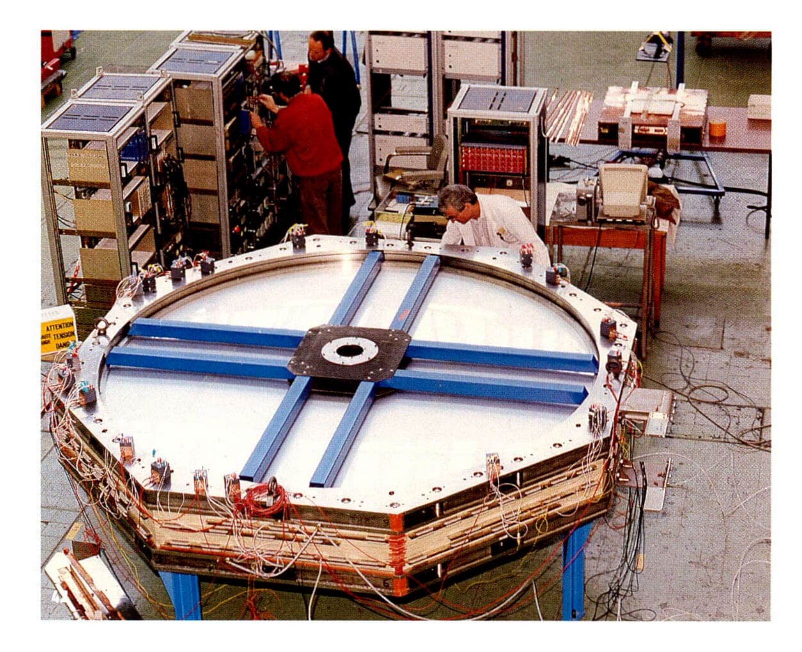
En parallèle, les équipes de Saclay ont acquis un formidable savoir-faire dans la conception et la réalisation des grands détecteurs qui mesurent avec de plus en plus de précision l'énergie, la masse et la charge des particules issues de la collision des faisceaux. Le CEA s'était en particulier distingué par la réalisation de nombreuses chambres à bulles qui avaient équipé de grands accélérateurs. Rappelons que c'est sur la chambre à bulles Gargamelle que fut découvert un nouveau type d'interaction prouvant l'existence des bosons Z°.

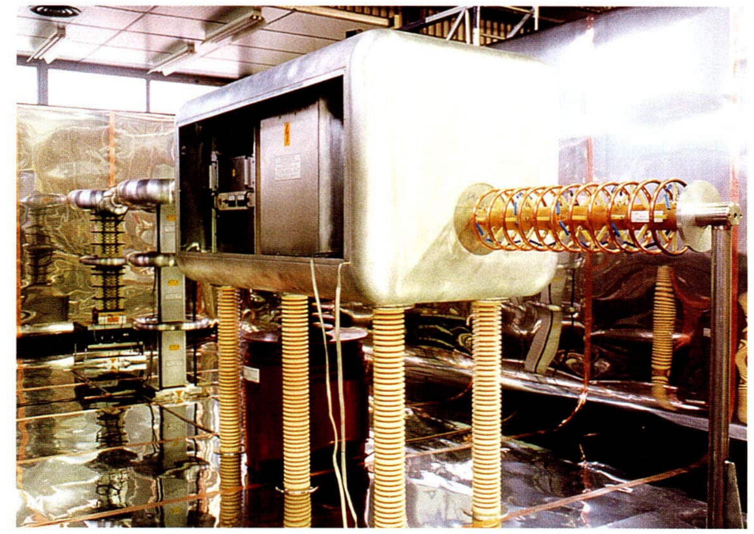
Mais, dans les années 70, la chambre à bulles, trop généraliste, cède la place à la chambre à fils, invention qui valut à Georges Charpak le prix Nobel. La chambre à fils permet de sélectionner plus facilement les bons événements, très rares mais très appréciés

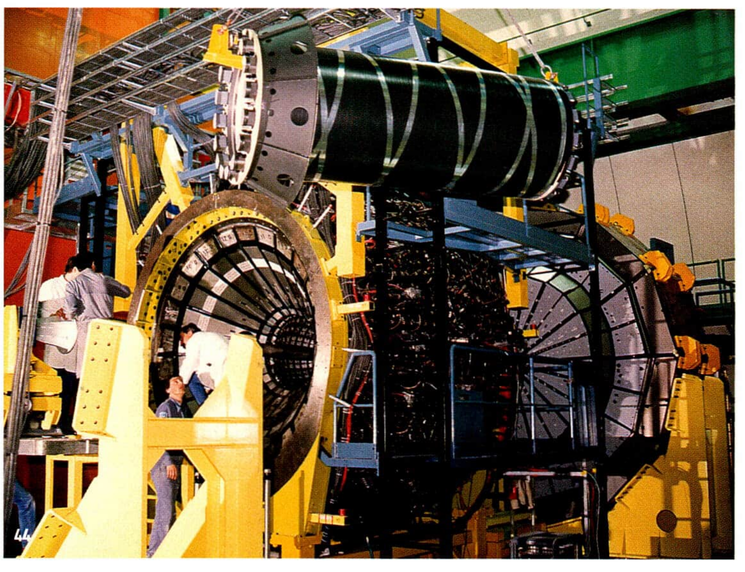
des physiciens car plus riches d'enseignements. Elle est constituée de milliers de fils métalliques baignant dans un gaz facilement ionisable. De part et d'autre, des plans conducteurs induisent un champ électrique intense. Lorsqu'une particule chargée traverse la chambre, le champ électrique produit un phénomène de multiplication électronique, permettant de localiser son passage. La plus grande finesse de cette nouvelle génération de détecteurs permettra le repérage et la classification systématique des particules.

De nouveaux appareils associés à une électronique puissante permettent dès les années 80 de pousser encore plus loin les recherches. C'est grâce à ce type de détecteurs, UA1 et UA2 installés sur le super-proton synchrotron du CERN, que seront repérés en 1983 les trois fameux bosons. Mais les détecteurs UA1 et UA2 ne pouvaient pas permettre de dresser avec précision « leur fiche signalétique », en donnant leur masse, leur poids et leurs différents modes de désintégration... De nouveaux détecteurs doivent prendre le relais du Large Electron Positon Collider (LEP) du CERN qui démarre en 1989. Avec ses 27 kilomètres de circonférence, le LEP est alors le plus grand instrument scientifique au monde. Ses détecteurs L3, Aleph, Delphi et Opal, doivent pousser toujours plus loin l'exploration de l'infiniment petit... Les chercheurs de Saclay sont directement associés à leur mise en place. Entre 1983 et 1987, le CEA est chargé de construire une bobine supraconductrice pour le détecteur Aleph qui permettra la reconstitution informatique des traces de particules générées par la collision des positrons et des électrons. Cet énorme chantier démontre, une fois de plus, la capacité des physiciens de Saclay à la gestion de gros projets.

Mais la collaboration ne s'arrête pas là et les physiciens participent à de multiples expériences utilisant les détecteurs de particules. Une chambre de détection des particules placée dans la région centrale du détecteur Delphi est mise au point à Saclay en collaboration avec le CNRS. De même, les ingénieurs du CEA construisent le détecteur de rayonnement de transition de l'expérience D0 auprès du Tevatron au Fermilab. Enfin, ils conçoivent des calorimètres qui mesurent l'énergie des particules produites lors de la collision du ou des faisceaux dans l'accélérateur pour Aleph et pour le détecteur H1 du DESY à Hambourg.







**41** : Vue partielle de l'accélérateur du CERN.

**42** : Chambre à fils NA 48 : essais avec des rayons cosmiques.
**43** : Canons à électrons.
**44** : Détecteur UA2.

# Aleph, une bobine supraconductrice pour le CERN

À partir de 1983, ingénieurs et physiciens de Saclay travaillent sur un projet d'envergure : la réalisation de la bobine supraconductrice d'Aleph (Apparatus for LEP physics), et du système de réfrigération associé. Ce chantier mobilisera pendant plusieurs années toutes les compétences des ingénieurs dans deux disciplines, la supraconductivité et la cryogénie. À très basse température, les matériaux supraconducteurs présentent l'avantage d'offrir une résistance nulle au passage du courant électrique. Utilisés dans les bobines ou dans les aimants installés au cœur des détecteurs, ils permettent de créer des champs magnétiques d'une grande intensité pour mesurer l'impulsion des particules en courbant leur trajectoire. À Saclay, une équipe de projet regroupant environ une centaine de personnes se met en place sous la direction de Marcel Jacquemet pour réaliser le solénoïde Aleph. De la conception à la réalisation, tout est mis en œuvre pour livrer la bobine en temps et en heure. Une fois les études achevées, le montage s'effectue dans les délais grâce au dévouement des équipes.

Après le marathon, vient l'heure de vérité : les essais. Marcel Jacquemet se souvient de la tension des équipes : *« L'instant où le thermosiphon s'est mis en route est inoubliable. De même que la première montée à mi-courant et la décharge rapide réalisée en pleine nuit pour minimiser le nombre de présents. De cette nuit, j'ai encore en mémoire le bruit lors de l'ouverture de soupapes rapides et la vision du jet d'hélium froid dans la lumière blafarde des néons du hall. Ceux qui étaient en salle de contrôle, voyant la pression monter, savaient que les systèmes de sécurité allaient s'ouvrir. Ceux qui comme moi étaient dans le hall, ignorant les évolutions, ont été plutôt surpris ! Quelques instants plus tard, pour compléter le tableau, une fumée s'est élevée au-dessus des résistances de décharge toutes neuves, c'était "tout simplement" l'huile restant sur les tôles qui se consumait. Je me souviens d'une sorte de chuintement proche de celui d'une friteuse dans laquelle on vient de plonger des pommes frites. Mais pendant les premières secondes, on est vraiment prêt à envisager un incident ou un dysfonctionnement, ce n'est que dans un second temps qu'on est rassuré ! Cette même nuit, le champagne a arrosé cette montée de champ et le parfait fonctionnement des systèmes de protection et de sécurité. »* 40 ans après Zoé, l'émotion des grands démarrages est toujours aussi vive…

24 HEURES DANS L'ESSONNE

Convoi super-exceptionnel !

**« ALEPH », UN « BÉBÉ » DE 182 TONNES A QUITTÉ L'ESSONNE POUR LA SUISSE**

**UN VOYAGE DE TROIS SEMAINES**

L'aventure se poursuit avec le transport de la bobine qui doit relier Saclay au CERN. Le 11 mai 1987 à 14 heures précises, une sirène retentit sur le site de Saclay. Cette fois ça y est : le convoi exceptionnel transportant l'une des plus grosses bobines supraconductrices du monde s'ébranle… sa charge, une sorte de cylindre en aluminium de 60 tonnes contenant la bobine, suspendue entre deux remorques de 6 essieux chacune, tirées et poussées par deux puissants tracteurs. Le convoi, qui roule à 20-25 km/h et circule surtout la nuit, met trois semaines à rejoindre Genève, empruntant sur 1 000 km un itinéraire en zigzag. À son passage, il faut, ici et là, démonter feux rouges et lampadaires. Les plus gros aménagements sont réalisés en fin de parcours dans le département de l'Ain où le convoi emprunte une bretelle spéciale de 300 mètres sur l'autoroute A40 pour permettre le franchissement d'un pont près de Nantua. À chaque étape, c'est l'événement : le passage du convoi fait les titres de la presse régionale… il fournit aussi l'occasion au CEA de communiquer sur ses activités. Dès l'arrivée du convoi salué par les plus hautes personnalités politiques, P. Aubert président de la Confédération helvétique et Jacques Chirac Premier ministre, les équipes se remettent au travail. L'installation sur le LEP et les tests dureront tout l'été. Enfin, le 14 octobre 1987, une clé du solénoïde est remise symboliquement à Jack Steinberger qui recevra le prix Nobel l'année suivante.




**45** : Équipe de projet devant la bobine Aleph avant son départ pour le CERN.

# La physique théorique à Saclay

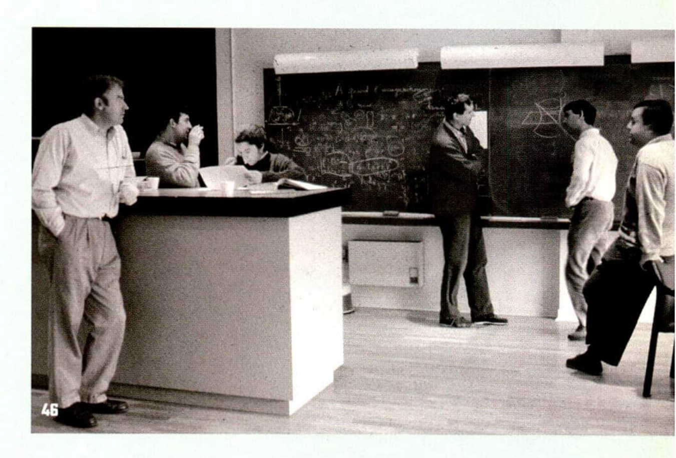
Aucune des avancées spectaculaires de la physique et aucune de leurs applications technologiques les plus connues du grand public (transistor, énergie nucléaire, ordinateur, etc.) n'auraient été possibles sans les grandes révolutions conceptuelles de la physique théorique du début du XXe siècle : l'espace-temps relativiste et la mécanique quantique. Ces cadres théoriques fondamentaux, essentiels à la compréhension moderne de l'univers – depuis le domaine de l'infiniment petit (le « subnucléaire ») jusqu'à celui de l'infiniment grand (la « cosmologie ») – font usage, dans leur formulation, de concepts mathématiques apparus à l'époque comme révolutionnaires.

Cette vocation unificatrice et de compréhension en profondeur des phénomènes au moyen des concepts mathématiques confère à la physique théorique un caractère original au sein de la recherche fondamentale, caractère dont l'importance fut pleinement reconnue par les grands scientifiques ayant participé à la fondation du CEA.

Peu après cette fondation, le Service de physique mathématique, créé en 1949 à Saclay par Jules Horowitz, bénéficiait « en direct » du grand pédagogue Albert Messiah, célèbre dans le monde pour son traité de mécanique quantique. Ce noyau initial devait engendrer en 1963 sous la direction de Claude Bloch le Service de physique théorique (SPhT), localisé à l'Orme des Merisiers depuis la création de ce centre annexe de Saclay.

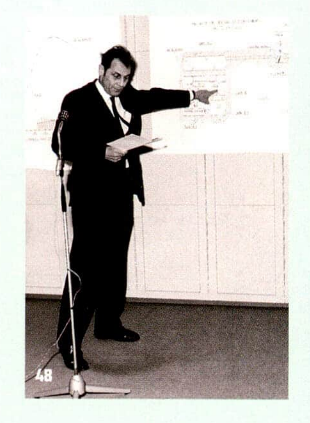
Ainsi, en plus des théoriciens installés au sein d'équipes expérimentales dans de nombreux départements (notamment à la direction des sciences de la matière), le CEA a su créer et conserver depuis cinquante ans un laboratoire entièrement consacré à la physique théorique, dont la réputation internationale est fermement établie.

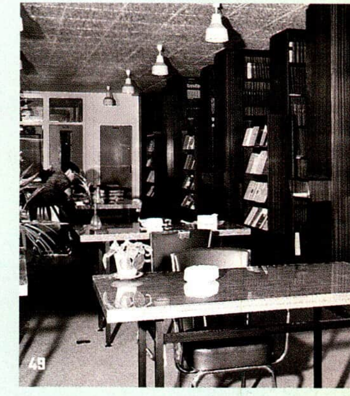
Semblable aux laboratoires de physique théorique existant dans les grandes universités scientifiques du monde, et riche d'une cinquantaine de membres permanents, le SPhT continue d'affirmer le besoin pour la science du XXIe siècle d'aller toujours plus loin dans la compréhension générale et unifiée des phénomènes les plus divers. Une multitude de recherches sont poursuivies dans ce laboratoire. Elles vont de l'étude des interactions fondamentales de la matière visant en particulier à expliquer la physique des particules, l'astrophysique et les origines de l'univers, jusqu'à l'élaboration de modèles mathématiques pour décrire certaines structures suggérées par la biologie, telles que les réseaux de neurones ou les membranes, en passant par l'étude de systèmes complexes à l'aide de la « mécanique statistique », une discipline dont la puissance et la fécondité se sont affirmées au cours des années. Sous la diversité des systèmes étudiés se cache souvent une unité profonde, mise en évidence par la similarité des outils mathématiques utilisés pour les décrire. Il arrive d'ailleurs que de tels outils mathématiques soient élaborés pour leurs besoins par les physiciens théoriciens eux-mêmes, lesquels apportent alors (par effet de retour...) leurs contributions à la recherche mathématique actuelle. Le « flux croisé de concepts » entre domaines *a priori* éloignés constitue le véritable ciment de la discipline « physique théorique », dont la démarche intellectuelle nécessite ouverture et indépendance d'esprit : telle est peut-être la plus belle justification de l'existence du Service de physique théorique de Saclay.

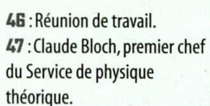




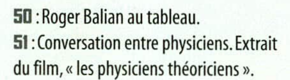


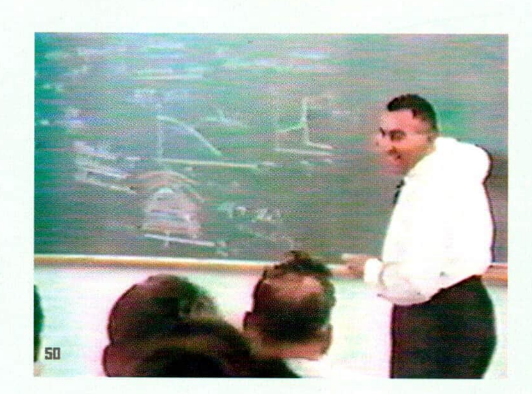






**46** : Réunion de travail.
**47** : Claude Bloch, premier chef du Service de physique théorique.

**48** : Albert Messiah à l'inauguration de l'Accélérateur linéaire de Saclay, 12 février 1969.
**49** : Bibliothèque du Service de physique théorique.


**50** : Roger Balian au tableau.
**51** : Conversation entre physiciens. Extrait du film, « les physiciens théoriciens ».





52

## L'essor de la physique de l'état condensé

La physique « légère », parfois injustement appelée la « petite-physique », est ainsi définie par opposition à la physique lourde, qui exige la construction de grands appareils et de projets qui s'étendent sur des calendriers très longs. Si, à Saclay, les physiques du solide, des surfaces, des liquides, voire de la matière molle, ont toutes été rassemblées sous cette même dénomination, ce n'est point parce que leur intérêt serait moins fondamental, mais parce que les expériences qu'elles nécessitent sont de taille « humaine », avec des temps de vie généralement courts (quelques années), tout comme d'ailleurs le renouvellement de leurs problématiques.

À Saclay, le brassage des chimistes, des physico-chimistes, des physiciens atomistes et des spécialistes de la matière condensée a, de façon significative, facilité l'émergence d'une recherche légère de très grande qualité. Celle-ci a bénéficié des compétences et de la méthodologie qui s'étaient développées en amont des programmes de l'électronucléaire, notamment autour du cycle du combustible. Par exemple, dans le cadre de ces recherches, l'utilisation du rayonnement synchrotron aussi bien que des neutrons était parfaitement maîtrisée. De plus, les équipes pouvaient s'appuyer sur une tradition de valorisation des technologies et des collaborations avec des industriels de la chimie et de la pharmacie.



# Orphée et le laboratoire Léon Brillouin, des faisceaux de neutrons pour la recherche fondamentale

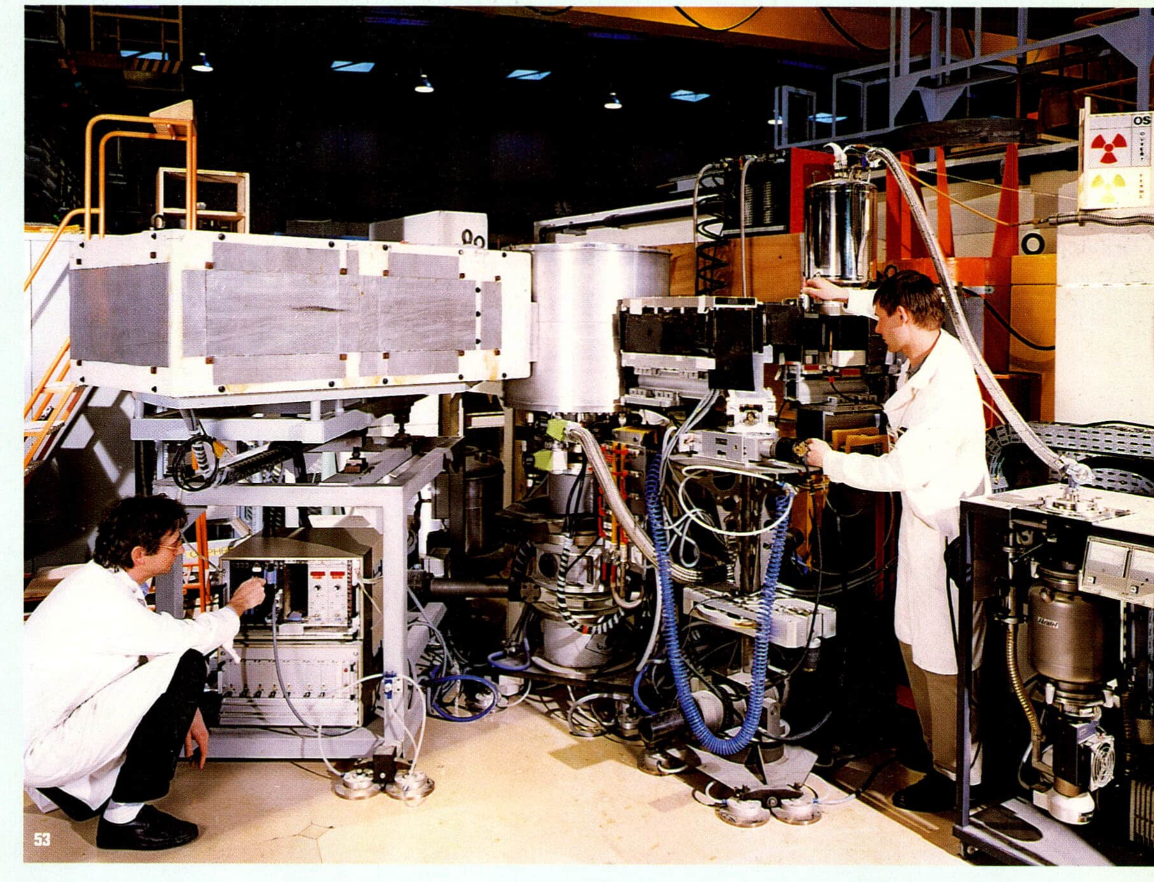
Depuis ses origines, le CEA a pour mission, entre autres, de fournir à la communauté scientifique française les faisceaux de neutrons dont elle a besoin pour la recherche fondamentale. C'est ce que firent d'abord le réacteur EL3 de Saclay, puis le réacteur à haut flux de l'Institut Laue-Langevin créé à Grenoble en 1971 par la France et la République fédérale d'Allemagne. Mais très vite, les installations existantes sont dépassées par les besoins croissants des physiciens neutroniciens français. En 1973, un rapport commandé par le ministère de la Recherche évalue l'intérêt d'une source de neutrons « nationale ». En effet, le CEA aussi bien que le CNRS l'ont constaté : il manque d'un instrument pour former les jeunes et préparer les expériences destinées au prestigieux réacteur à haut flux. L'idée naît alors de construire une installation à Saclay en remplacement d'EL3. Le 3 décembre 1974, une convention est signée pour dix ans entre le CNRS et le CEA, par laquelle est créé le Laboratoire Léon Brillouin (du nom d'un grand physicien français spécialiste de physique quantique). Le LLB est dirigé par Daniel Cribier (CEA) et Marianne Lambert (Université et CNRS). Pendant les premières années, les chercheurs du LLB utilisent huit faisceaux d'EL3 et leurs spectromètres associés, à la fois pour leurs propres travaux de recherche et pour former aux techniques de la diffusion neutronique d'autres chercheurs des universités, du CNRS et du CEA.

En 1976, Jules Horowitz obtient du CEA, avec l'appui du CNRS, l'autorisation de construire un nouveau réacteur nucléaire de recherche pour remplacer EL3 dont l'arrêt est prévu pour la fin de la décennie. On l'appelle Orphée (Outil pour la Recherche en PHysique de l'État condensE). Il est construit à Saclay par la société Technicatome sous la maîtrise d'ouvrage de l'Institut de recherche fondamentale (IRF). Sa divergence a lieu le 24 décembre 1980. Il est officiellement inauguré le 26 février 1981 en présence d'Alice Saunier-Séité, ministre des Universités, d'André Giraud, ministre de l'Industrie, et de Pierre Aigrain, secrétaire d'État à la recherche.

Orphée est un réacteur de type piscine de 14 MWth, qui délivre 20 faisceaux de neutrons. En étudiant la diffusion de ces neutrons dans la matière, les chercheurs en déduisent les propriétés structurales et dynamiques des atomes et des moments magnétiques qui la composent. Ce type d'analyses profite à des domaines aussi divers que la physique, la chimie et la biologie. Les expériences réalisées au Laboratoire Léon Brillouin ont permis des avancées spectaculaires. Par exemple, on a pu déterminer la structure des solutions de polymères, et ainsi valider l'analyse théorique originale et surprenante qui avait été proposée par Pierre-Gilles de Gennes et Jacques des Cloizeaux (ils interprétaient le comportement des polymères dans le cadre général de la théorie des transitions de phase). D'autres expériences révélèrent la mise en ordre antiparallèle des moments magnétiques nucléaires. Sont également élucidés les mécanismes des transitions dans les composés où la compétition entre plusieurs interactions (frustration) se traduit par une mise en ordre singulière, allant de la structure incommensurable à l'état de « verre magnétique ».

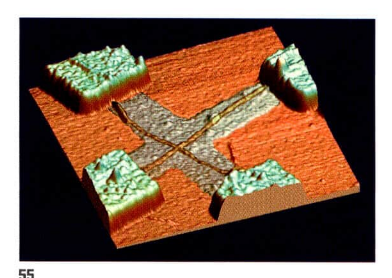
**52** : Piscine du réacteur Orphée.

**53** : Préparation et réglage du matériel expérimental.

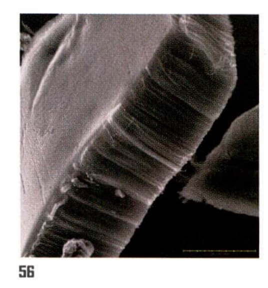

53



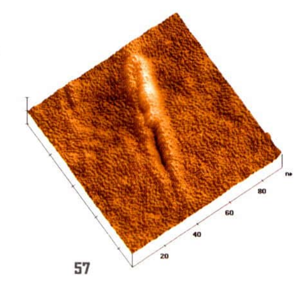
54



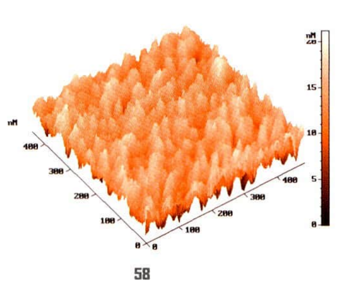
55



56



57



58

**54** : Microphotographie du quantronium, premier circuit électronique constituant un « bit quantique » qui est dans deux états à la fois comme symbolisé par la superposition du zéro et du un.

**55** : Manipuler des molécules uniques comme les nanotubes de carbone, les faire se croiser en les collant sur du scotch moléculaire et les brancher sur des électrodes métalliques, c'est faisable depuis l'an 2000. Une étape prometteuse vers la réalité de l'électronique moléculaire, une voie possible pour l'électronique du futur.

**56** : Alignement des nanotubes de carbone se présentant sous forme de tapis.

**57** : Image par microscope à force atomique de l'impact d'ions d'or de 200 MeV sur une surface de silice en incidence rasante. On voit le sillon creusé par l'impact et la matière repoussée sur les bords.
La taille de l'image est d'un dix millionième de mètre.

**58** : Image par microscopie de force atomique 500 nm x 500 nm (nm = nanomètre = 1 milliardième de mètre) d'une surface de rupture du verre dans la zone dite « miroir », plate à l'œil !

Ce rapprochement des physiciens et des chimistes a été une source d'enrichissement, un catalyseur d'idées permettant de créer des axes de recherche nouveaux. L'émergence de l'électronique moléculaire en est un cas exemplaire. D'une part, les chimistes de l'équipe créée par André Barraud et Annie Ruaudel synthétisent des architectures moléculaires pour l'électronique en tant que composants. D'autre part, le Groupe quantronique (voir plus loin) maîtrise la lithographie qui permet de réaliser des circuits à l'échelle du nanomètre (milliardième de mètre). L'interaction entre ces deux domaines de compétence fut un succès éclatant, qui déboucha sur la création d'un nouveau laboratoire : on y réalise aujourd'hui de très petits circuits à partir de molécules ayant des propriétés de conductivité très intéressantes, on les manipule, on fait en sorte qu'elles s'auto-assemblent pour réaliser des circuits bien plus petits que les transistors actuels et moins consommateurs en énergie. Enfin on peut les connecter à des circuits électriques et ainsi ouvrir les portes de l'électronique du futur.

Au début des années 80, trois jeunes physiciens, Michel Devoret, Daniel Estève et Cristián Urbina, qui viennent de soutenir leur thèse au Service de physique du solide et de résonance magnétique, partent à l'université de Berkeley pour travailler dans l'équipe de John Clarke sur les circuits supraconducteurs. À leur retour à l'Orme des Merisiers, ils décident de lancer dans leur laboratoire une nouvelle activité autour des circuits électroniques quantiques. Leur premier objectif est de fabriquer des circuits permettant d'étudier la transition entre les mondes quantique et classique.

À cette époque, on commence en effet à comprendre pourquoi la physique quantique ne se manifeste pas à notre échelle : les objets macroscopiques perdent très rapidement leurs propriétés quantiques du fait des interactions multiples qu'ils ont avec leur « environnement ». C'est ce que l'on appelle la « décohérence ». En utilisant des circuits supraconducteurs pour lesquels les sources de décohérence sont minimisées, la jeune équipe de Saclay parvient à mesurer précisément les mécanismes de décohérence à l'œuvre.

Ce nouveau domaine de recherche est vivement soutenu par la direction de l'IRF, avant même que les premiers résultats soient obtenus. En 1986, le « Groupe quantronique » est officiellement créé. S'y développe notamment l'électronique dite « à un seul électron », ainsi nommée parce qu'elle permet de transporter une charge électrique électron par électron. L'« écluse » et la « pompe » à électron sont fabriquées, qui suscitent un grand intérêt, en particulier dans le domaine de la métrologie.

Des travaux sont ensuite menés dans le domaine de l'électronique quantique « cohérente ». Sont notamment réalisées des boîtes supraconductrices à paires de Cooper grâce auxquelles on peut instaurer un état de cohérence quantique à une échelle macroscopique.

Durant ces dernières années, les physiciens du groupe quantronique sont parvenus à mettre au point des composants électroniques relativement insensibles aux sources de décohérence. Ils ont notamment pu construire un circuit électronique dans lequel tout se passe comme si le courant électrique circulait dans les deux sens « à la fois » ! De tels bits quantiques, qui superposent deux états classiquement distincts, sont les prémices de ce qui pourrait être l'élément de base d'un futur ordinateur quantique.



# Les lasers de puissance



Si l'on bombarde de la matière avec des photons, on peut y déposer une grande quantité d'énergie en des temps très courts, allant de la picoseconde ($10^{-12}$ s) à la femtoseconde ($10^{-15}$ s). Ce faisant, on « excite » le cortège électronique des atomes de la cible, ce qui peut donner lieu à de nouveaux phénomènes. Parce qu'ils délivrent l'énergie lumineuse sous la forme d'impulsions à la fois très intenses et très brèves, les lasers de puissance ont permis d'étudier le comportement de la matière dans des conditions extrêmes, notamment celles où les forces électriques induites par le faisceau laser dépassent les forces de cohésion des atomes. Ils ont ainsi permis l'émergence d'une nouvelle discipline : l'optique « non linéaire ».

Dès les années 60, le groupe de Gérard Mainfray et de Claude Manus s'équipe des premiers lasers à rubis puis de lasers en verre dopé au Néodyme fabriqués par la CILAS, qui délivrent déjà une énergie par impulsion de l'ordre du joule en quelques nanosecondes. Grâce à ces sources intenses, l'équipe de Saclay fait l'une des premières observations de l'ionisation « multiphotonique » d'un gaz : l'atome qui, en champ faible, ne peut pas être ionisé par l'absorption d'un seul photon du champ laser, se retrouve ionisé en champ fort parce qu'il peut absorber simultanément plusieurs photons.

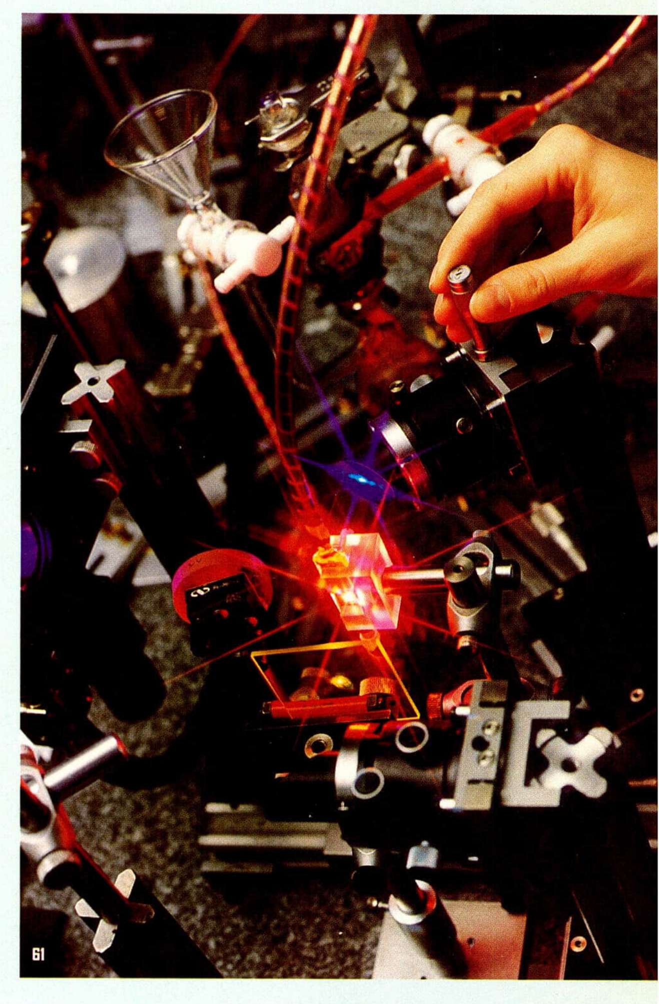
Dans les années 70, on parvient à réduire la durée des impulsions laser à quelques picosecondes et donc à augmenter la valeur des éclairements (flux d'énergie par unité de surface) accessibles. Le seuil des $10^{15}$ W/cm$^2$ est bientôt franchi, ce qui permet à l'équipe de Pierre Agostini d'observer pour la première fois l'ionisation multiphonique « au-dessus du seuil » : l'atome absorbe un nombre de photons supérieur à celui correspondant à son seuil d'ionisation et les photons en excès sont captés par l'électron éjecté.

En 1987, grâce à des lasers encore plus puissants, un processus non linéaire très spectaculaire, la « génération d'harmoniques » d'ordre élevé, est observé simultanément à Chicago et à Saclay. Ce phénomène se produit lorsqu'un faisceau laser très intense est focalisé dans un jet atomique de gaz rare, par exemple de néon. Dans un premier temps, ce déferlement de lumière « secoue » les électrons qui absorbent l'énergie des photons reçus et s'éloignent du noyau auquel ils sont liés. Dans un deuxième temps, ces électrons retournent à leur niveau d'énergie de départ en réémettant l'énergie supplémentaire qu'ils avaient absorbée. Mais les photons ainsi restitués ne sont pas semblables aux photons d'origine : leur énergie est un multiple entier de celle des photons incidents. Les atomes se sont donc comportés en définitive comme des convertisseurs de fréquence : leurs électrons ont absorbé chacun un grand nombre de photons incidents mais ne réémettent qu'un seul photon plus énergique. Des harmoniques d'ordre élevé sont ainsi engendrées, jusqu'à atteindre des fréquences proches de celles des rayons X. Ainsi crée-t-on, finalement, une nouvelle source de lumière.

Plus récemment, des éclairements supérieurs à $10^{17}$ W/cm$^2$ ont permis à l'équipe de Saclay de s'intéresser aux plasmas produits par laser. Dans une expérience menée conjointement avec la Direction des applications militaires (DAM), elle a pu mettre en évidence le phénomène « d'autofocalisation relativiste » : pour le faisceau laser, le plasma se comporte comme une lentille convergente qui contrecarre sa divergence naturelle, de sorte que son éclairement peut être augmenté d'un ordre de grandeur à l'intérieur même du plasma.

**59** : Chaîne d'amplification du laser 10 TW à saphir dopé au titane.
**60** : Laser infrarouge.

**61** : Expérience de fluorescence femtoseconde.



# Biologie, des progrès considérables dans la connaissance du vivant

Les activités de biologie sont rattachées à l'Institut de recherche fondamentale en 1975. Ce rattachement s'explique certainement par le désir fort de continuer à bénéficier de la pluridisciplinarité qui dès le départ a donné un tel dynamisme aux travaux entrepris. Le Département de biologie, dirigé alors par Dominique Comar, bénéficie toujours de la présence d'un grand nombre de doctorants qui deviendront, pour beaucoup, professeurs d'Université, et de nombreux chercheurs étrangers attirés par sa notoriété.

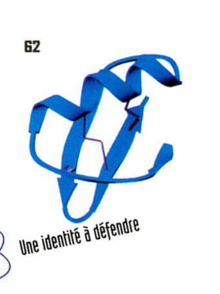
En biophysique, les années 70-90 voient le fort développement des recherches sur la photosynthèse. Mettant à profit les moyens disponibles en marquage isotopique et en techniques spectroscopiques sophistiquées (par exemple dans le domaine des hautes résolutions temporelles), une équipe de jeunes chercheurs animée par Eugène Roux, aux formations variées et complémentaires allant de la physique théorique à la physiologie végétale, occupe rapidement l'une des toutes premières places mondiales dans son domaine. Les études portent sur l'élucidation des mécanismes qui, dans les végétaux, assurent la conversion de l'énergie solaire en énergie biochimique, et permettent l'émission de l'oxygène qui est pour l'essentiel celui de notre biosphère.

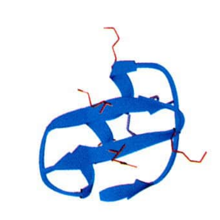
En physiologie et biologie cellulaire, citons la découverte des canaux à eau, des protéines qui assurent le transport de l'eau à travers les membranes biologiques, le décryptage du fonctionnement de l'appareil de Golgi qui, au sein d'une cellule, adresse les protéines nouvellement synthétisées vers leur destination finale. Les études sur les mécanismes de concentration du rein aboutissent à la mise en évidence d'un contrôle plurihormonal de la réabsorption de l'eau et des électrolytes par le rein. Les techniques utilisées pour les recherches fondamentales sont valorisées dans l'industrie : le Laboratoire d'étude du métabolisme des médicaments est créé dès 1975 (il deviendra la Section de pharmacologie et d'immunologie en 1981) mettant à la disposition de l'industrie pharmaceutique les précieux outils du nucléaire. Les résultats, uniques, qu'il obtient servent à la constitution des dossiers d'autorisation de mise sur le marché des médicaments. Ces activités donneront ultérieurement naissance à Spi-Bio, société essaimée du CEA.

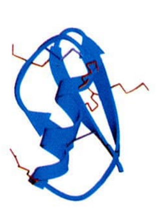
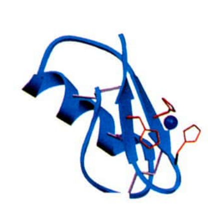
En biochimie, tandis que se développe le marquage de molécules variées, le CEA explore un domaine en émergence, la biologie moléculaire des gènes. Le Service de biochimie lance un grand programme sur les mécanismes moléculaires de l'expression des gènes dans la levure et identifie les enzymes responsables de la transcription de l'ADN. Le CEA explore aussi le monde des toxines qui agissent sur le système nerveux. L'objectif de ces travaux est d'étudier le mode d'action de ces petites protéines et d'y trouver une source d'inspiration pour en créer de nouvelles. La compétence acquise dans ce domaine conduira logiquement le CEA à développer l'ingénierie des protéines. Ce sera la mise en place du programme Protéine 2000 en 1989. Très vite, les chercheurs de Saclay impliqués dans ce programme ont créé de nouveaux objets protéiques complexes. Par exemple, en associant la connaissance de la structure des anticorps et des enzymes colorimétriques, ils ont conçu une des plus grandes protéines artificielles, un anticorps fusionné à la phosphatase alcaline. Cette protéine, produite dans la bactérie *Escherichia Coli*, est aujourd'hui commercialisée. Reconnu au plan international, le CEA représentera notre pays auprès du réseau international d'ingénierie des protéines. Protéine 2000 sera rapidement suivi d'un autre programme national conduit par le CNRS. Ensemble, ces deux programmes donneront naissance à l'Institut de biologie structurale situé à Grenoble.

Les connaissances sur la structure des protéines progressent à grand pas grâce à la collaboration entre physiciens, chimistes et biologistes. Ainsi, les biologistes utilisent les rayonnements et les faisceaux de neutrons pour explorer la structure intime des molécules organiques. La biologie structurale se développe particulièrement autour des lignes de flux de neutrons du réacteur Orphée à Saclay et du réacteur à haut flux de l'Institut Laue-Langevin à Grenoble, utilisés pour analyser les protéines et leurs interactions. De même, les techniques de diffraction et de résonance nucléaire sont utilisées en particulier par les spécialistes de molécules atypiques comme les cyclodextrines, capables de transporter dans le corps des substances thérapeutiques.

62






63

64

L'imagerie médicale connaît une progression foudroyante sous l'impulsion du Pr. Claude Kellershohn. Au début des années 70 la disponibilité des ordinateurs ouvre la voie au traitement numérique des images. La collaboration des biologistes avec les spécialistes de l'électronique, commencée avec la mise au point des premiers appareils de scintigraphie, s'intensifie. À cette époque, des avancées décisives sont obtenues grâce à la mise au point d'une nouvelle méthode, la gamma-tomographie, qui permet d'effectuer des images de coupe d'un organe et de reconstruire des images tridimensionnelles. Cette technique valut, en 1979, le prix Nobel à ses inventeurs, Hounsfield et Cormack. De son côté, le Service hospitalier Frédéric Joliot décide de financer un tomographe à émission de positons qui fonctionne suivant les mêmes principes que le gamma-tomographe classique, mais utilise les émetteurs de positons. Avec ce nouveau système, les atomes utilisés sont des radioéléments à vie courte (azote 13, carbone 11, oxygène 15), dont la radioactivité décroît en quelques minutes. Pour les obtenir, le CEA a mis en place un cyclotron pour produire sur place ces radioéléments. *« Ces exigences expliquent pourquoi le CEA fut le premier organisme au monde à avoir développé cette méthodologie »*, précise André Syrota[24].

L'utilisation du tomographe à émission de positons, plus lourd mais plus performant que le gamma-tomographe, et de la résonance magnétique nucléaire, donne une nouvelle dimension à la médecine nucléaire, notamment avec l'exploration du fonctionnement du cerveau grâce à la visualisation des zones cérébrales. L'imagerie médicale non invasive trouve des applications multiples. En pharmacologie, où elle permet de suivre le devenir des médicaments et de déterminer leur site de fixation, et en médecine où elle permet par exemple de diagnostiquer des maladies cardiaques grâce au glucose marqué.

**62** : Structure de protéines modélisée par résonance magnétique nucléaire.
**63** : Examen neurologique réalisé par tomographie par émission de positons (TEP).
**64** : Réalisation d'une image par résonance magnétique (IRM).
**65** : Superposition d'images fonctionnelles et anatomiques du cerveau, obtenues par TEP et IRM.


65

À cette époque, le CEA s'interroge sur la possibilité de filialiser certaines activités liées à la biologie, rentables mais qui commencent à sortir du cadre de ses missions de recherche. C'est le cas du Service des molécules marquées qui existait depuis 1949, et dont la mission d'origine était de produire les molécules marquées nécessaires à la communauté scientifique. Intégré depuis 1962 au département des radioéléments, ce service fait l'objet d'un premier projet de privatisation, mais l'administrateur général décide en 1976 de l'intégrer au Département de biologie pour lequel il travaille déjà très largement. La filiale ORIS est finalement créée en 1985 pour prendre en charge la recherche, la production et la commercialisation de produits biomédicaux. Elle est aujourd'hui devenue le leader européen pour la production et la distribution des traceurs pour la médecine sous le nom de CIS-Bio international.

[24] André Syrota, « La médecine nucléaire *in vivo* », *Actes du colloque du 50e anniversaire du CEA*.

66

# ENTRE DEUX ÉPOQUES



LE MATIN DE PARIS — WEEK-END

SUPPLEMENT

## PETROLE : LE COUP DE FORCE DE L'OPEP

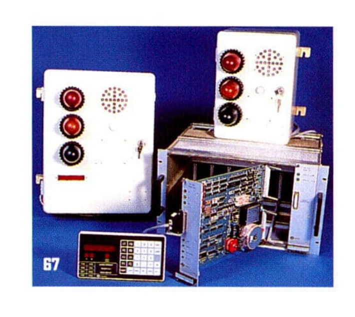
**A quelques semaines de la réunion des pays producteurs à Caracas, « le Matin » est en mesure de révéler que le prix du baril approchera les 40 dollars à la fin de 1980. Les pays industriels risquent de connaître l'an prochain une pénurie d'énergie et une récession économique grave**

PS

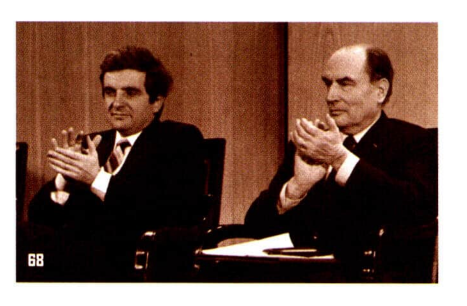
*Accord sur le texte de Mitterrand*

CAMBODGE

*La France propose une conférence internationale*



67



68



## Un redéploiement des activités




Le 28 mars 1979, un accident survient sur la centrale américaine de Three Mile Island. Il a pu être contenu grâce aux enceintes de sécurité, mais il révèle l'extrême sensibilité de l'opinion publique à l'égard de l'énergie nucléaire qui, en France, s'était déjà exprimée à plusieurs reprises à l'occasion de grandes manifestations. Dans tous les pays concernés, des mesures immédiates sont adoptées pour examiner les causes de l'accident et renforcer la sûreté des installations. Une défiance durable s'installe dans les opinions publiques et l'industrie nucléaire américaine marque le pas. En quelques années, le centre d'études nucléaires de Saclay devra s'adapter à un contexte nucléaire particulièrement mouvant.

Ironie de l'histoire, à la fin de l'année 1979 éclate la révolution iranienne qui entraîne, six ans après le premier, un nouveau choc pétrolier. Cette nouvelle augmentation du prix du baril rappelle au monde industrialisé son étroite dépendance énergétique vis-à-vis des pays producteurs de pétrole. À cet égard, elle vient aussi conforter la politique française d'indépendance énergétique obtenue grâce au développement de l'énergie nucléaire. Un nouvel élan est donné à la politique nucléaire française. Il se traduit notamment par une volonté d'accélérer la francisation de la filière à eau pressurisée, d'autant que les États-Unis sont en passe de perdre leur leadership dans ce domaine. La conjoncture est donc plutôt favorable pour le CEA mais les événements passés et récents sont riches d'enseignements. Le CEA réalise que ses programmes dépendront de plus en plus des aléas du contexte politique et sociétal…

**66** : Centrale de Three Mile Island (États-Unis).
**67** : Balises de radioprotection developpées en 1985 au DEIN (Département d'électronique et d'instrumentation nucléaire).
**68** : Le Président François Mitterrand et Jean-Pierre Chevènement aux assises de la « Recherche et Technologie ».
**69** : Chute du mur de Berlin, novembre 1989.

C'est dans ce contexte que s'ouvre en 1981, le grand colloque national organisé par Jean-Pierre Chevènement, alors ministre de la Recherche, sur le thème Recherche et Technologie. Les assises organisées dans la France entière sont l'occasion de faire un bilan de la recherche, de croiser expériences et idées et d'ouvrir des perspectives pour l'avenir. Le centre de Saclay est partie prenante de la démarche. On y discute du poids respectif de la recherche fondamentale et appliquée, de la difficulté de communiquer sur la science, des problèmes liés à la valorisation des recherches, de l'intérêt d'organiser un redéploiement des activités du CEA vers des activités de développement technologique…

L'année suivante, les missions du CEA sont remodelées par le décret du 24 août 1982 qui concerne principalement *« le prolongement de ses activités de recherche dans des domaines autres que nucléaires et la contribution à apporter au développement technologique dans les régions, sans pour autant remettre en cause les finalités essentielles du CEA qui restent l'électronucléaire et les activités relatives à la Défense nationale »*, déclare en 1982 l'administrateur général Michel Pecqueur, qui a succédé à André Giraud en 1978. Dans cette perspective, un Institut de recherche technologique et de développement industriel (IRDI) est créé pour constituer un pôle homogène des activités du Commissariat dans ce domaine, une organisation déjà expérimentée depuis 1975 avec l'Institut de recherche fondamentale. Pourtant, à la différence de ce dernier qui couvre des domaines précis, l'IRDI regroupe finalement toutes les activités qui ne sont pas du ressort de la recherche fondamentale.

114e année — N° 198. ISSN 0373-0425 Jeudi 26 Août 1982.

JOURNAL OFFICIEL

DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

ÉDITION DES LOIS ET DÉCRETS

Avis : Le *Journal officiel* complémentaire n° 198 de ce jour est encarté entre les pages 2658 et 2659 du présent numéro.

**MINISTERE DE LA RECHERCHE ET DE L'INDUSTRIE**

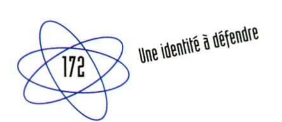
**Décret n° 82-734 du 24 août 1982 modifiant le décret n° 70-878 du 29 septembre 1970 et le décret n° 72-1158 du 14 février 1972 modifiés relatifs au commissariat à l'énergie atomique** (p. 2651).

Arrêté du 24 août 1982 abrogeant les dispositions d'un précédent arrêté portant création d'un comité financier auprès du commissariat à l'énergie atomique (p. 2653).

À Saclay, cette nouvelle structure jouera un rôle moins déterminant que sur les autres sites du CEA car l'établissement héberge à lui seul plus de 70 % de la recherche fondamentale du CEA. Néanmoins, l'IRDI, qui regroupe sur Saclay principalement les activités liées au support scientifique et technologique des programmes nucléaires et les activités sur l'enrichissement isotopique, s'attache à valoriser ses connaissances et à les transférer aux industries non nucléaires. Cette approche donne clairement une finalité industrielle commune aux disciplines émergentes, qui ont bénéficié du formidable retour d'expérience du nucléaire pour mettre au point des technologies avancées dans des domaines tels que l'électronique, l'informatique, l'instrumentation, la robotique et les matériaux. La réflexion qui conduira à la mise en place d'un pôle technologique est amorcée.

Pour s'adapter à cette évolution voulue par le décret de 1982, le Commissariat dirigé par Gérard Renon qui succède à Michel Pecqueur en 1983 continue à évoluer. Le but est à la fois d'ouvrir l'organisme, qui du fait de ses activités vit un peu replié sur lui-même, et d'assouplir son fonctionnement interne. Cette refonte s'articule autour de plusieurs objectifs principaux : la poursuite de la déconcentration vers des entités assurant l'exécution des programmes et leur gestion financière, un élargissement de la concertation et de la démocratisation des procédures de décision (qui se traduit par la participation des représentants du personnel au conseil d'administration et au conseil scientifique), une affirmation du rôle industriel du groupe CEA et une insertion plus profonde des activités des centres dans le contexte régional. Le Commissariat doit parallèlement gérer l'intégration massive de personnels sous-traitants suite aux décisions du gouvernement Mauroy.

Ces objectifs trouvent une résonance particulière au centre d'études de Saclay qui mesure au début des années 80 la nécessité de s'ouvrir davantage. Il s'implique dans la réflexion engagée dès 1976 par les pouvoirs publics dans le cadre d'un comité de réflexion du plateau de Saclay, à proximité duquel se sont installées en 1974 l'École polytechnique (Palaiseau) et en 1975 Supélec (Gif-sur-Yvette). Les travaux conduits par le préfet de région et le préfet de l'Essonne, en contact étroit avec le syndicat intercommunal d'étude de l'aménagement du plateau de Saclay et des communes des vallées de l'Yvette fait l'objet d'un livre blanc dont l'objectif est *« de faire prendre conscience du fait que l'ensemble des établissements concernés forme un grand complexe scientifique regroupant environ 13 000 étudiants, plus de 2 000 enseignants et environ 11 000 chercheurs, ce qui en fait sans doute l'un des tout premiers d'Europe et même du monde. Il essaie de montrer que, géographiquement, l'espace*



# La CFDT s'oppose au chargement de la centrale de Gravelines

***Son appel à une grève de solidarité pourrait entraîner ce matin des coupures de courant***

**Le chargement, décidé par Electricité de France, de la centrale de Gravelines a provoqué la réaction immédiate de la CFDT. Sur le site, une assemblée générale s'est tenue dans l'après-midi et le personnel a décidé de s'opposer au chargement. Sur le plan national, la CFDT appelle les agents EDF/GDF à procéder aujourd'hui, par solidarité, à un arrêt de travail d'au moins quatre heures, de 8 heures à midi, avec possibilités de baisse de pression et d'arrêts de courant.**

CETTE décision a été prise après la réunion qu'ont eue les syndicats mercredi soir avec la direction d'EDF, et au cours de laquelle ont été fournies des informations sur les contrôles effectués depuis quinze jours sur les fissures découvertes sur les réacteurs. Ainsi que sur les résultats des calculs effectués par les ingénieurs du constructeur des cuves, Framatome, sur l'évolution possible de ces fissures.

Les deux syndicats, CFDT et CGT, ont des attitudes radicalement opposées à propos des conclusions d'EDF. La CFDT estime que les contrôles n'ont pas été complets, que leur analyse n'est pas achevée, que les calculs ne sont pas terminés. Elle proteste également contre le refus d'EDF de rendre ces éléments publics. D'où sa décision d'opposition au chargement et son appel à la grève.

La CGT, au contraire, juge suffisants les essais et les contrôles qui, disent ses responsables, ont permis de constater qu'il n'existe pas de fissures là où une évolution rapide serait dangereuse — c'est-à-dire dans les parties coudées des sorties des cuves du réacteur. La CGT s'estime satisfaite par les calculs faits à Framatome et a pris acte qu'il n'existait pas de risques immédiats.

Elle a donc décidé de laisser EDF charger les réacteurs de Gravelines et du Tricastin. A condition que les éléments qui restent à fournir, concernant notamment les discussions qui subsistent, entre experts, sur la tenue à long terme de ces fissures, soient donnés avant la « divergence » de ces réacteurs. EDF s'est engagée, selon les dirigeants CGT, à ne pas mettre en route les réacteurs avant que satisfaction soit donnée sur ce point. Ce qui peut signifier que les réacteurs seraient déchargés, d'ici à quelques semaines, si des incertitudes subsistaient à propos de leur sûreté. Une hypothèse qui, pour la CFDT, *« ne semble pas envisageable »*.

Un arrêt de travail de trois heures a paralysé hier matin l'activité de la centrale du Tricastin. Mais ce mouvement déclenché dans le cadre de la semaine d'action nationale organisée par la CGT, était étranger à l'affaire des fissures.

## *Arrêt d'un réacteur japonais*

*Le réacteur PWR numéro deux de la centrale japonaise de Mihama a été arrêté mercredi soir à la suite de la découverte de fuites radioactives dans le bâtiment réacteur. Les techniciens envisagent la possibilité de fissures microscopiques dans les circuits d'alimentation, mais écartent tout danger de contamination extérieure.*

# Des forêts grecques offertes à Giscard et à Schmidt...

***C'est ce qu'affirme le Parti socialiste grec, qui dénonce une nouvelle loi permettant ce genre de cadeau***



**70** : Animation d'une journée d'information des ateliers lycéens, décembre 1989.

*occupé par ce complexe forme un tout que l'aménageur doit traiter en tant que tel afin de satisfaire les besoins spécifiques d'une population scientifique finalement plus homogène qu'il pourrait paraître à première vue, à la nécessité vitale pour elle d'une bonne insertion au sein du milieu de vie dans lequel elle baigne ».*

En conclusion du rapport, le comité avance un certain nombre de recommandations qui s'articulent autour de trois objectifs : *« Assurer les échanges les plus intenses entre les établissements scientifiques et créer les conditions d'une bonne liaison entre ces derniers et l'industrie, favoriser les contacts entre établissements scientifiques et collectivités locales et améliorer les conditions de vie de la population scientifique de la région […] dans un paysage agricole préservé. »* Le plateau de Saclay fait désormais l'objet d'une véritable politique d'aménagement du territoire.

Cette prise en compte de l'environnement du Centre d'études nucléaires porte ses fruits. Durant cette période les relations entre les différents organismes et établissements s'intensifient via l'INSTN mais aussi grâce à la synergie générée par les grands projets de recherche fondamentale et technologique. Le CEA, resté trop longtemps à l'écart de la communication sur le nucléaire, redécouvre la nécessité de faire connaître ses activités. Les quatre directeurs du centre qui se succèdent durant la décennie 80, Claude Chauvez, Paul Mirat, Philippe Sachnine et Paul Delpeyroux s'y emploient avec énergie. Saclay commençait en effet à souffrir de cet isolement préjudiciable à la lisibilité de ses activités. Après le colloque Recherche et Technologie, qui fournit l'occasion au centre de communiquer sur son action, Saclay retrouve l'envie de lancer des opérations comme les journées portes ouvertes qui sont remises au goût du jour. Mais ce n'est qu'après le grave accident de Tchernobyl en 1986 que cette politique d'ouverture et de communication devient une impérieuse nécessité… Pourtant, cet aspect de la vie du centre ne sera traité de manière systématique qu'à partir de 1990.

## Une transition difficile

L'année 1986, marquée par le retournement de la conjoncture pétrolière et l'accident de Tchernobyl, amorce un véritable tournant dans la politique de l'organisme. L'environnement du CEA se durcit. Depuis 1974, les efforts consentis par les pays industrialisés dans le domaine énergétique ont porté leurs fruits. L'avènement de nouvelles zones de production et le développement des énergies de substitution ont permis de réduire dans de larges proportions la dépendance énergétique des pays consommateurs. Cette situation entraîne un rééquilibrage des prix du pétrole, puis un retournement. À partir de 1986, c'est le contre-choc pétrolier ; le prix du pétrole baisse fortement et pose pour la première fois la question de la révision à la baisse du grand programme nucléaire.

Le terrible accident du 26 avril 1986 dans la centrale soviétique de Tchernobyl ébranle les industries nucléaires mondiales mais ne remet pas en cause le choix nucléaire français. Il donne, au contraire, une signification nouvelle aux efforts continus consentis par l'industrie nucléaire française pour améliorer la sûreté de son parc nucléaire. En revanche, cet accident entame durablement la confiance des populations à l'égard du nucléaire et prouve, une fois de plus, la fragilité et la sensibilité de l'opinion publique sur ce thème. Il pose aussi gravement le problème de la transparence par rapport aux questions de sûreté et démontre la nécessité pour les acteurs du secteur nucléaire de s'interroger sur la manière d'informer les citoyens.

Au même moment, le grand programme d'équipement nucléaire, mené à cadence forcée pendant dix ans, se ralentit. Le rythme d'engagement de nouvelles tranches sera désormais déterminé par la croissance de la consommation d'électricité. De plus, avec l'engagement du palier N4 réacteur à eau pressurisée de la dernière génération, le processus de francisation s'achève, annonçant la fin proche des grands accords de recherche. *« Il est clair que le budget civil du CEA ne bénéficiera pas de la même priorité dans les arbitrages que par le passé. Beaucoup de décideurs estiment, en effet, que la contrainte énergétique est desserrée jusqu'à la fin du siècle »*, annonce en 1986 le nouvel administrateur général, Jean-Pierre Capron, qui succède à Gérard Renon. Dans ce contexte, l'avenir de la filière rapide reste aussi en suspend, malgré la divergence de Superphénix en 1986. À partir de 1988, sa compétitivité est sérieusement remise en question, d'autant qu'une avarie malencontreuse survient et que la contestation antinucléaire se focalise sur cette filière.

**71** : La centrale nucléaire de Tchernobyl trois jours après l'explosion.


71







Sorti en 1989, l'album *SOS Météores* de Edgar P. Jacobs situe l'aventure de Blake et Mortimer autour du centre de Saclay.

La recherche fondamentale, qui reste un point fort du CEA et notamment du Centre de Saclay, s'essouffle. Malgré le succès du développement de nombreuses coopérations nationales et internationales, une réflexion s'impose sur l'avenir de disciplines de plus en plus dépendantes des grands projets internationaux dont les coûts sont très importants.

Le CEA, fort de sa capacité d'adaptation, procède en 1990 à une nouvelle refonte de son organisation et de ses programmes. Il s'agit désormais de pousser les secteurs forts et porteurs et de penser au redéploiement des activités du Commissariat vers des domaines connexes au nucléaire. « *Cela signifie également qu'il faut valoriser systématiquement les résultats et l'expérience acquise dans l'accomplissement de nos missions* », poursuit l'administrateur général. La mise en place de la Direction des technologies avancées en 1989 est révélatrice de cette nouvelle orientation. Elle est aussi l'une des premières mesures qui conduira à la réforme de 1990.

Dans le même temps, le CEA se trouve confronté à un délicat problème de gestion de ressources humaines puisqu'il doit trouver un équilibre entre une politique de rigueur en matière d'effectifs, tout en maîtrisant sa pyramide des âges où la classe des 45-55 ans, correspondant à la génération entrée dans les années 60, est sur-représentée. Cette forte distorsion signifie que le nombre de départs en retraite restera pendant plusieurs années très faible après quoi ils seront massifs posant un crucial problème de transmission de connaissances. Il devient nécessaire d'échelonner les départs pour recruter de jeunes chercheurs. C'est dans cette perspective que sera signé l'accord du 18 avril 1988 entre la direction et quatre syndicats. Celui-ci prévoit, entre autres, un vaste plan de recrutement pour la période 1988-1992, sur la base d'un recrutement pour trois départs et un dispositif contraignant de départ en retraite à 60 ans. Le centre de Saclay, le plus important avec 36 % des effectifs des centres civils, est le premier touché par ces mesures qui entraînent une rapide décrue des effectifs. On passe de 5000 personnes environ en 1988 à 4000 environ en 1991.

Même nécessaires, ces départs en retraite forcés ne sont pas toujours bien acceptés par les agents. « *Les mesures "Capron", comme on les appelait, ont été mal vécues car les gens devaient impérativement partir à soixante ans. Pour beaucoup de chercheurs passionnés par leur secteur, ce fut le couperet* », se souviennent des responsables également concernés. Cette politique a des effets immédiats : en octobre 1990, le CEA accueille déjà son millième recruté depuis les accords de 1988. Elle s'accompagne aussi d'une volonté de mieux gérer les compétences et de stimuler la mobilité à tous les niveaux hiérarchiques. Ainsi, le CEA réussit-il à franchir l'étape toujours périlleuse du renouvellement des générations. La population des techniciens et des ingénieurs rajeunie permet également de mettre en place les compétences nécessaires pour prendre le cap des années 90.



1990-2002

# LA RECHERCHE



# POUR DEMAIN

# L'IDENTITÉ PRÉSERVÉE



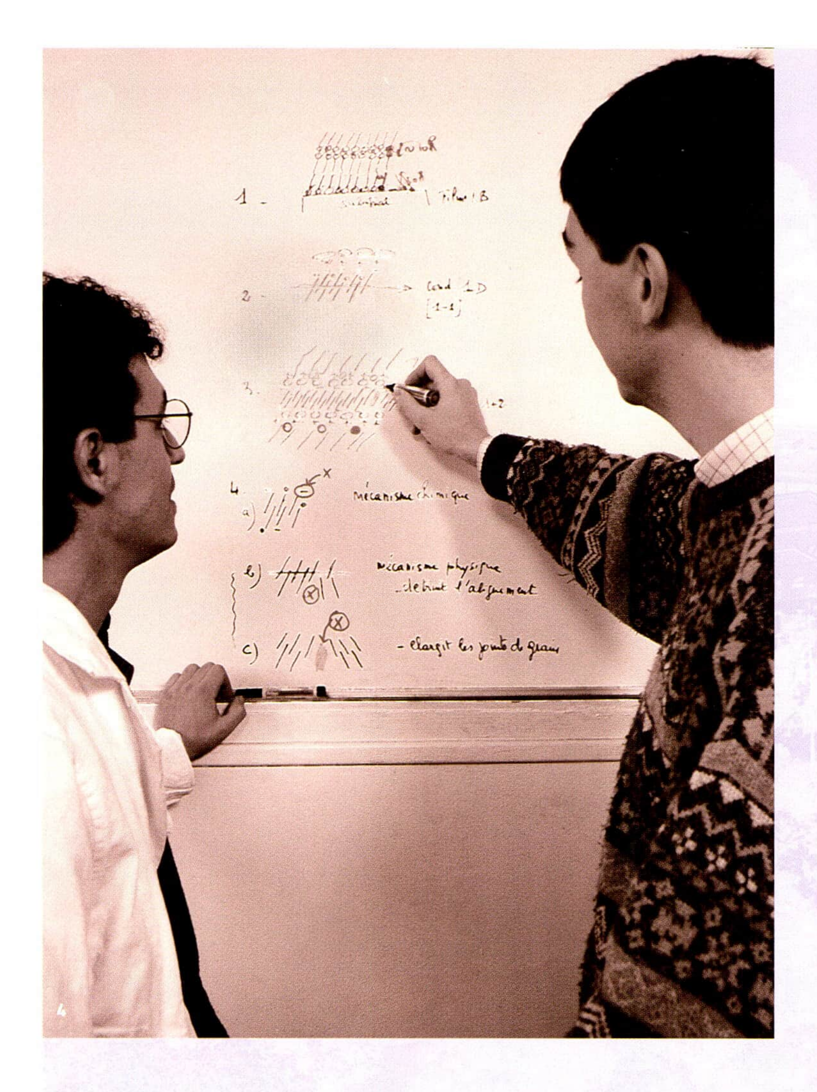


2



3





Le début des années 90 a été marqué par une première adaptation des structures du CEA imposée par la fin du grand programme d'équipement nucléaire. À cette époque, le centre de Saclay se transforme en valorisant les compétences acquises sur le nucléaire vers d'autres applications. Polyvalent et généraliste, il est au carrefour des grandes disciplines du CEA. Mais cette évolution s'accompagne d'un certain éparpillement des activités. La réforme de 2001 vient lui donner une nouvelle cohérence en confiant chacun des grands domaines d'intervention du CEA à un pôle national opérationnel : énergie nucléaire, recherche fondamentale, applications militaires et recherche technologique. Saclay, rattaché au pôle nucléaire, voit sa vocation scientifique confirmée, principalement vers la recherche en amont. Grâce à sa pratique pluridisciplinaire, le centre apporte son soutien aux autres centres civils, globalement plus orientés vers la recherche technologique et appliquée. En parallèle, certaines disciplines comme la biologie, la climatologie ou l'astrophysique se développent rapidement, donnant progressivement une image de Saclay de plus en plus généraliste, même si ses compétences en simulation numérique, matériaux et physico-chimie restent au cœur des études sur l'énergie nucléaire et ses corollaires dans les domaines du traitement du combustible irradié et de l'élimination des déchets.

**Page précédente** : Sommet de la Terre à Rio, juin 1992.
**1** : Travaux pratiques de métallurgie à l'Institut national des sciences et des techniques nucléaires (INSTN).
**2** : Nouveau bâtiment de l'INSTN.
**3** : Exposition « 50 ans du CEA » à la Villette.
**4** : La vie de chercheur.

# Réorganisation des structures

En 1990, le budget du Commissariat à l'énergie atomique enregistre, pour la première fois de son histoire, une décroissance en francs courants, en autorisations de programme comme en crédits de paiement. Cette évolution est provoquée par la diminution simultanée des subventions civile et militaire, qui n'a pu être que partiellement compensée par une progression des ressources externes. Dans ce contexte, le CEA met en place en 1991, sous la direction de l'administrateur général Philippe Rouvillois, une organisation qui s'efforce de mieux répondre aux nouvelles priorités des programmes et d'accentuer l'effort de redéploiement technologique et industriel. Dans le même temps, le Commissariat à l'énergie atomique réexamine ses relations avec ses principaux partenaires et entame les premières discussions avec les pouvoirs publics en vue de la signature d'un contrat d'objectif qui permettra de définir plus précisément les grandes perspectives d'activité à moyen terme.

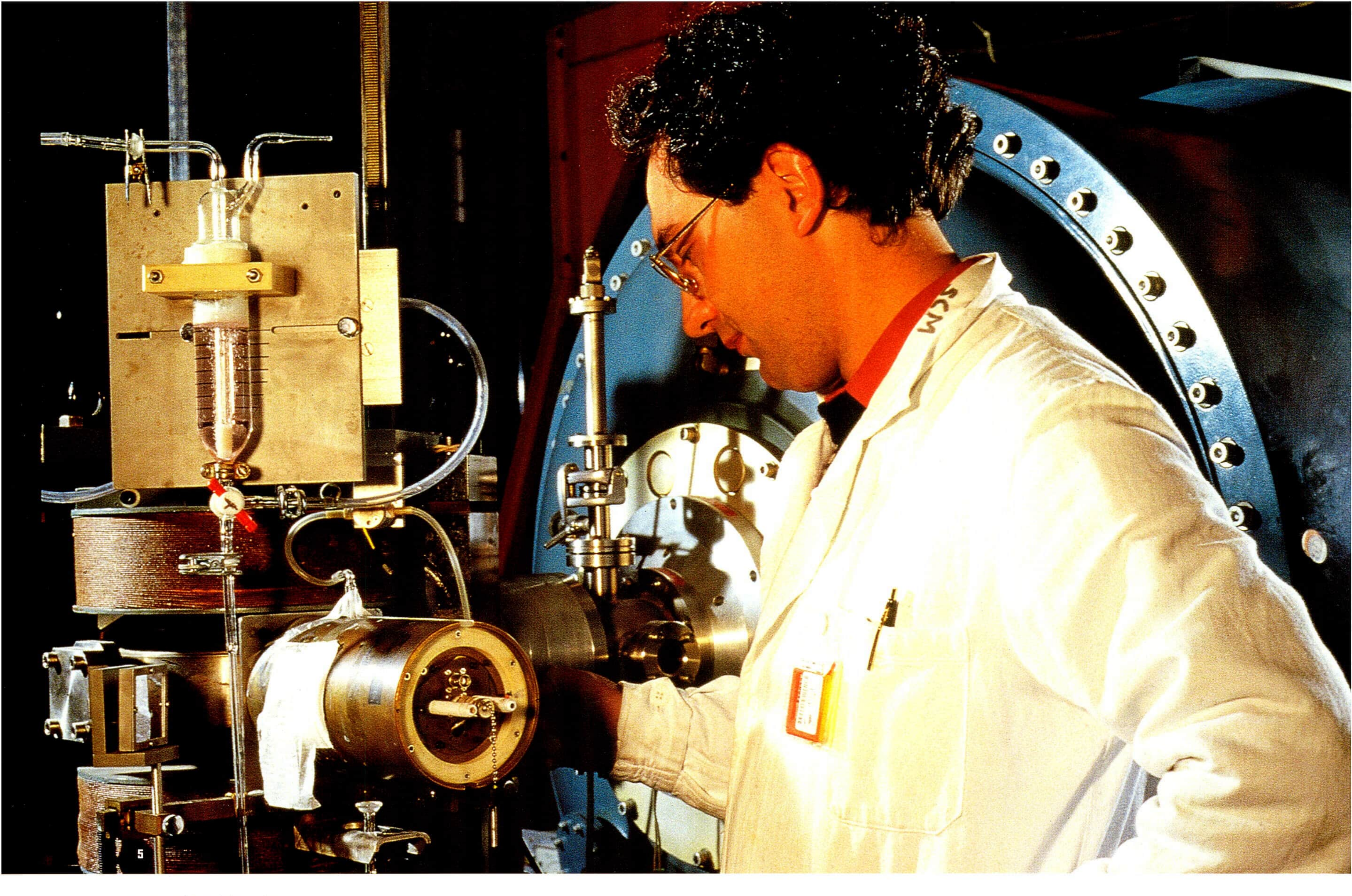
Les activités du CEA sont regroupées au sein de six directions opérationnelles qui proposent leurs objectifs à la direction générale et, après approbation, assument la responsabilité des actions à mener : les réacteurs nucléaires, le cycle du combustible, la protection et la sûreté nucléaire, les sciences du vivant, les sciences de la matière, les technologies avancées, l'enseignement à l'INSTN restant autonome. Cette réforme correspond aussi à une simplification de l'organigramme. *« Le CEA limite à trois les niveaux de sa structure : direction générale, directions opérationnelles et départements. Une organisation courte qui laisse ainsi toute la souplesse nécessaire à une bonne ouverture sur l'extérieur »*, précise le rapport annuel de 1991. Une nouvelle mission d'ordre général est assignée au CEA : valoriser ses recherches et organiser leur transfert et leur diffusion technologique vers les industriels français et européens concernés.




La grande nouveauté de cette organisation réside dans la création d'une Direction des sciences du vivant justifiée par la montée en puissance de cette discipline et de la Direction des technologies avancées (DTA), dirigée à l'origine par Yannick d'Escatha. Elle regroupe les activités liées à la microélectronique, l'instrumentation, la science des matériaux, la métrologie, la robotique et les applications industrielles des rayonnements. La DTA constitue désormais un ensemble de 1 400 personnes, réparties sur les centres parisiens de Saclay et de Fontenay-aux-Roses, et le centre de Grenoble autour du LETI. Si la DTA n'a pas le monopole de la diffusion technologique, elle joue un rôle central dans les actions de valorisation au profit de l'industrie. *« L'un des points forts de la réorganisation récente du Commissariat est d'avoir accentué l'identité de la recherche technologique. L'utilisation coordonnée des compétences techniques du CEA en vue de développer des techniques nouvelles et de les diffuser dans le milieu industriel est un réel atout pour notre maison. Elle doit contribuer à fixer en France, voire en Europe, des technologies importantes dont la maîtrise risque de nous échapper »*, explique le haut-commissaire Jean Teillac dans le rapport annuel de 1990.

Dans le cadre de cette politique de transfert industriel, les interlocuteurs traditionnels du CEA sont les grandes entreprises avec lesquelles se sont noués de nombreux liens au fil des ans. En revanche, il est plus difficile de toucher les PME-PMI, en raison de leur très grand nombre, de leur éparpillement et de l'extrême diversité de leurs activités. Pour faciliter l'approche de ce milieu industriel complexe, le CEA signe en 1990 un accord avec l'Agence nationale de valorisation de la recherche (ANVAR). Il permet à l'organisme de recherche de s'appuyer sur le réseau des directions régionales de l'Anvar pour entrer en contact avec les acteurs locaux et les industriels régionaux... Cette nouvelle orientation amorce un vrai changement culturel puisqu'elle implique de la part des chercheurs et des ingénieurs du CEA des efforts accrus pour aller au-devant des besoins les plus divers des entreprises. Le centre de Saclay participe à cette évolution dans les trois domaines des applications et de la métrologie des rayonnements ionisants, des matériaux et de leur élaboration et de l'instrumentation.

Parallèlement, afin d'assurer une meilleure efficacité de gestion d'un accord de coopération tripartite signé en 1991 avec EDF et



**5** : Dispositif de radiolyse pulsée destiné à étudier les propriétés chimiques des radicaux libres.

Framatome, une Direction des réacteurs nucléaires (DRN) est mise en place. Il s'agit de regrouper les thèmes de recherche qui concernent les industriels, tout en fournissant au CEA un complément de ressources appréciable.

La nouvelle Direction du cycle du combustible (DCC) se voit confier pour sa part le grand chantier ouvert par la loi Bataille, votée par le Parlement fin 1991 : le CEA et son partenaire l'Andra ont quinze ans pour apporter des solutions à la gestion à long terme des déchets hautement radioactifs à vie longue comme les déchets non recyclables issus du retraitement des combustibles irradiés.

Autre conséquence de la réorganisation de 1991 : la fusion au sein d'un même département des activités d'astrophysique, de physique des particules, de physique nucléaire et de l'instrumentation associée, qui sont de plus en plus imbriquées les unes dans les autres, et dont le développement est de plus en plus tributaire des grands projets internationaux. « *Certains grands équipements dépassant les capacités d'un seul organisme ou d'un seul pays, les chercheurs et les équipes du CEA ont tout naturellement pris leur place dans la création, à la taille de l'Europe, d'un réseau où des connaissances progressent par la confrontation des idées et la réalisation de projets communs ; dans certains domaines tels que la fusion, la physique des particules, l'astrophysique ou la physique nucléaire, la concertation européenne est indispensable* », poursuit Jean Teillac. Ce changement, qui bouscule les habitudes des chercheurs, amorce aussi une diminution du poids relatif de la physique et annonce le rééquilibrage en faveur de la biologie en train de s'opérer au sein de la recherche fondamentale.

Après avoir réalisé un inventaire exhaustif de ses atouts et compétences, le CEA signe en 1995 avec l'État son premier contrat

d'objectifs. Celui-ci définit à la fois sa place dans le dispositif de recherche, fixe les grands axes de sa stratégie ainsi que les grands objectifs des programmes de recherche. À cette occasion, la mission centrale du CEA qu'est la recherche nucléaire et la maîtrise de l'atome dans les secteurs de l'énergie, de l'industrie, de la défense, de la santé et de l'environnement sont réaffirmés. Mais les pouvoirs publics assignent aussi au CEA de nouveaux objectifs. *« Les apports spécifiques [du CEA] aux grandes priorités nationales en recherche, qu'elle soit fondamentale ou technologique, diffusion technologique, formation et transmission du savoir ont été clairement mis en valeur »*, précise Yannick d'Escatha, qui devient administrateur général en 1995. De même, le rôle d'expertise et de conseil du Commissariat au service du gouvernement et des pouvoirs publics est clairement exprimé. Le contrat d'objectifs relève les programmes prioritaires et en fixe les principales étapes pour répondre aux demandes des pouvoirs publics et des principaux partenaires industriels : le cycle du combustible, les problèmes d'assainissement et de démantèlement des installations, la sûreté en cas d'accident, la gestion des déchets, la radiobiologie, la médecine nucléaire, l'ingénierie des protéines, l'astrophysique ou les nanotechnologies...

Entre 1995 et 2001, le CEA doit s'adapter à un environnement mouvant dans lequel les questions énergétiques, et celles concernant le nucléaire et son avenir, deviennent des enjeux industriels, politiques et sociétaux forts. Dans le domaine nucléaire, la décision est prise par le gouvernement d'arrêter définitivement Superphénix, conformément aux accords établis préalablement aux élections législatives de 1997. Les coups de frein donnés au développement de l'énergie nucléaire, hormis en Extrême-Orient, conduisent à mettre en veille certains développements. En revanche le projet de l'European Pressurized Reactor (EPR), étudié conjointement avec Framatome et Siemens, est soigneusement examiné par les autorités de sûreté des deux pays et prêt à être

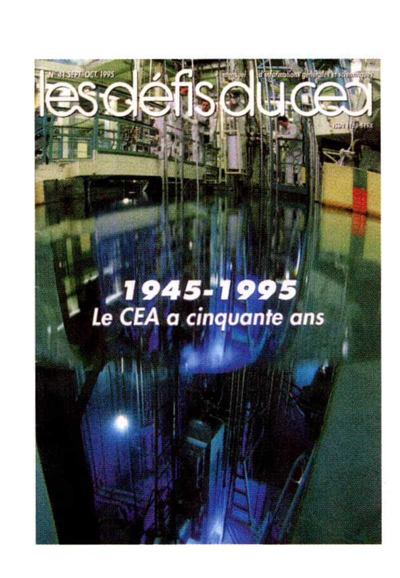

7

déployé. Parallèlement, la biologie apparaît de plus en plus comme un programme majeur du CEA, s'appuyant sur les avancées scientifiques considérables dans les domaines de la génétique, de la biologie moléculaire, de la virologie et de la pharmacologie. La physique continue son évolution vers des projets internationaux, le développement d'accords de collaboration, la création de laboratoires associés. Dans le même temps, le besoin d'une vision à plus long terme de l'évolution des techniques et de leur intégration dans la société émerge en France comme à l'étranger : effet de serre, exigences plus fortes dans le domaine de la santé et de l'environnement, envolée des microtechnologies et de la génomique.

C'est pour mieux répondre à ces nouveaux défis que le CEA met en place, en 2001, une nouvelle organisation, sous la direction de l'administrateur général Pascal Colombani. Toutes les activités sont désormais rassemblées autour de quatre pôles correspondant à de grands objectifs : la défense, l'énergie nucléaire, la recherche technologique et la recherche fondamentale (sciences de la matière, et sciences du vivant). Cette répartition donne plus de visibilité et de cohérence à chacune des activités du CEA et en particulier aux deux pôles jugés prioritaires pour une stratégie de recherche et développement à long terme : le nucléaire et la technologie. Une stratégie qui va de pair avec la définition d'un véritable projet industriel mis en œuvre par le groupe AREVA qui s'organise de son côté autour de deux métiers : le nucléaire et les nouvelles technologies.

Dans ce nouvel organigramme, chacun des centres nucléaires civils est sous l'autorité d'un grand pôle stratégique, même si ses activités n'en dépendent pas exclusivement. La gestion de Saclay est ainsi confiée au pôle énergie nucléaire dont l'état major s'installe sur le site. Chaque centre, tout en conservant ses responsabilités d'employeur pour l'ensemble des unités CEA implantées sur le site, exerce une autorité hiérarchique sur les unités de son pôle et un soutien opérationnel aux unités des autres pôles. Ce positionnement permet d'associer plus étroitement la gestion des centres à la mise en œuvre de la politique des grands pôles. Le rattachement du centre de Saclay au pôle énergie nucléaire permet aussi de réaffirmer une vocation nucléaire historique. « *Il vient confirmer la place de Saclay qui s'est toujours positionné comme un centre où se croisaient toutes les disciplines. Cette vocation généraliste, appuyée sur une capacité exceptionnelle de compréhension des phénomènes de base et de modélisation, est précieuse pour le pôle nucléaire car elle permet d'avoir une approche globale de ses projets* », précise Jean-Pierre Pervès, directeur actuel du centre.






**6** : 1995 exposition « 50 ans du CEA » à La Villette.

**7** : Cinquantenaire du CEA : Le président de la République, Jacques Chirac, entouré du haut-commissaire Robert Dautray (à gauche) et de l'administrateur général, Yannick d'Escatha (le 18 octobre 1995 à la Cité des sciences et de l'industrie - La Villette).

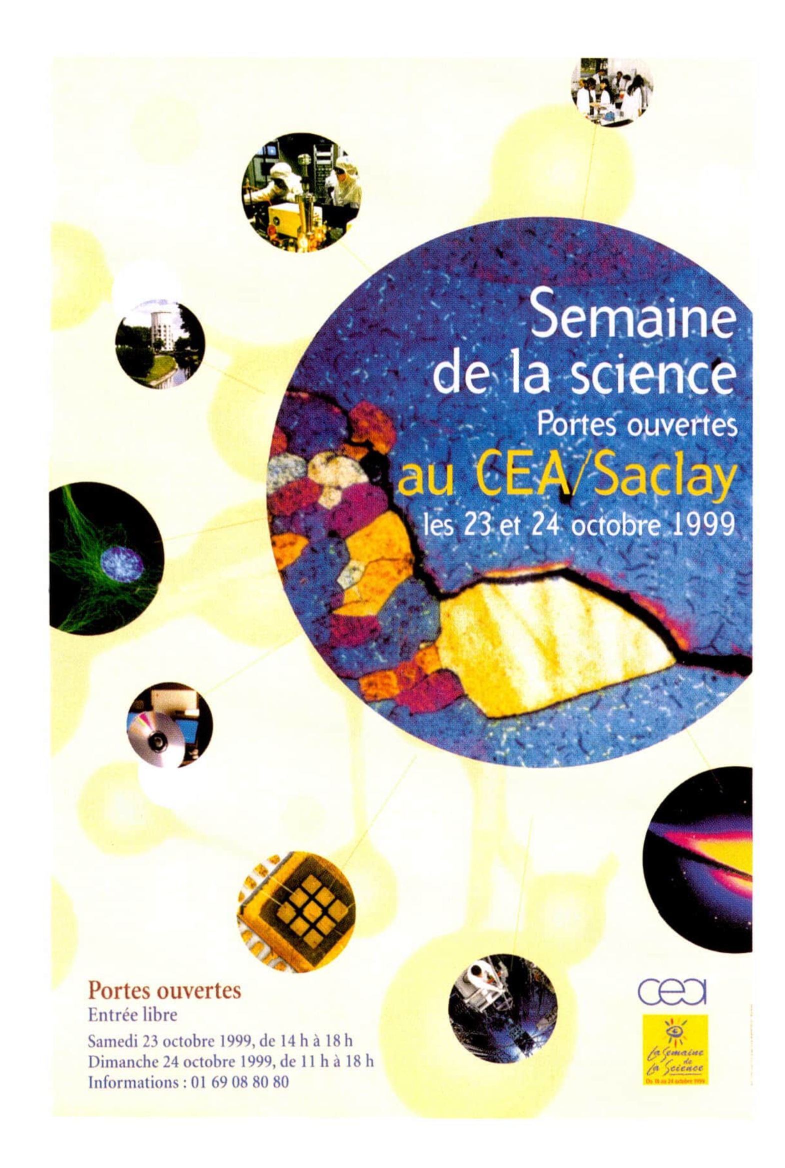
**8** : Prélèvement d'eau dans l'étang Vieux de Saclay pour la surveillance de l'environnement.

## Un site plus ouvert à son environnement

Depuis 1991, la nouvelle organisation réaffirme la place des centres et précise leurs multiples missions. Au-delà des fonctions traditionnelles d'administration générale et d'entretien du patrimoine, les centres jouent un rôle clé en matière de sécurité des installations et des laboratoires, de radioprotection et surveillance médicale des personnels et de gestion des déchets, radioactifs ou non. Ils sont, de plus, chargés des échanges et de la concertation avec les acteurs locaux du tissu économique, social et universitaire. Sur la base de ces principes se met en place tout au long des années 90 une politique d'ouverture qui passe, en premier lieu, par une meilleure prise en compte des questions liées à l'environnement.

Suite à l'accident de Tchernobyl, les réglementations concernant la sûreté, les rejets, la gestion des déchets ont considérablement évolué. Les bonnes relations avec le monde environnant, communes, départements, région, associations, sont devenues essentielles.

Trois affaires vont secouer l'établissement de Saclay suite à des révélations largement médiatisées. À vingt kilomètres du centre, le site du Bouchet, utilisé dans les années 50 et 60 pour extraire du minerai d'uranium et démantelé dans les années 70, a été assaini conformément aux règles sanitaires de l'époque puis rendu à la Société nationale des poudres et explosifs. Mais un terrain annexe ayant servi de bassin de décantation des boues résultant du traitement des effluents de l'usine reste en l'état. Des travaux de réhabilitation sont demandés par la préfecture de l'Essonne en 1992, afin de mettre le site en conformité avec les nouvelles règles.

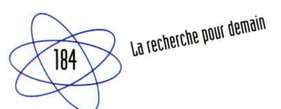





**9** : Science en fête, 2000 :
la radioactivité en question.

Un autre site va inquiéter les populations avoisinantes dès la fin de l'année 1990 : c'est le terrain de la déposante de l'Orme des Merisiers qui, cette fois, dépend directement de Saclay. Il s'agit d'une ancienne carrière d'où était extraite la pierre meulière chère aux bâtisseurs de la région parisienne qui a servi de décharge pour les produits très légèrement radioactifs du centre pendant deux décennies. Les conditions d'entreposage sur ces deux sites ne sont plus convenables au regard de l'évolution de la réglementation et de l'opinion publique.

Sous l'impulsion d'associations de défense de l'environnement et d'opposants au nucléaire, un débat est lancé. Dans les deux cas, des commissions d'experts sont mises en place par les pouvoirs publics. Leurs recommandations sont prises en compte et les deux

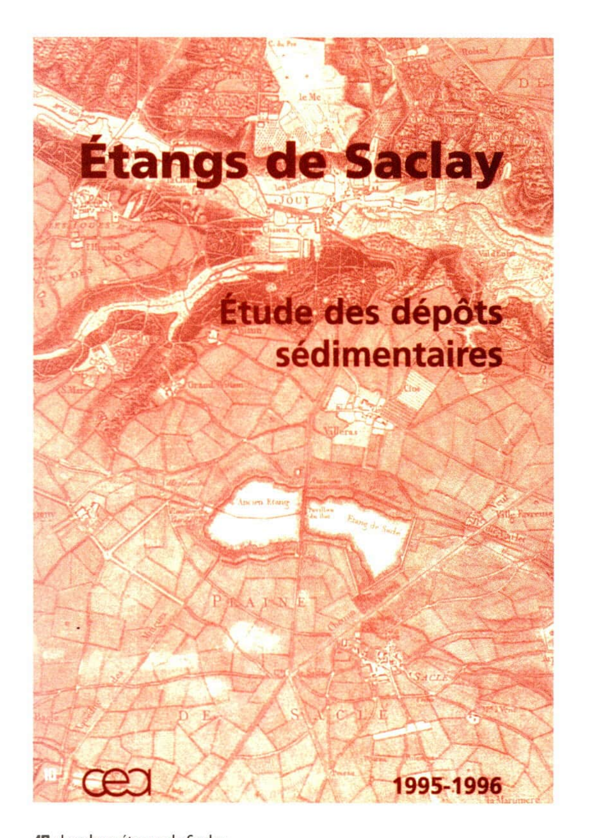


installations seront classées par la préfecture au titre de la protection de l'environnement. Leur surveillance est strictement encadrée. Une troisième affaire, polémique, se développera en 1998 autour du niveau de contamination des boues qui tapissent le fond de l'étang Vieux de Saclay, situé à proximité du centre, dans lequel le CEA rejette ses eaux épurées depuis cinquante ans.

Tirant le bilan de ces affaires, les directeurs qui se succèdent dans les années 90, Jean Bazin et Éliane Loquet vont développer les relations régionales. Éliane Loquet prendra l'initiative de créer en 1995 le Groupe de travail Saclay et son environnement (GTSE) dans lequel se retrouvent des élus locaux, des techniciens de tous bords et des associations pour mieux informer les populations sur l'environnement et ouvrir un lieu de débat serein sur les risques générés par les activités du centre. Cette instance sera transformée fin 1998 par le président du conseil général, Michel Berson, en Commission locale d'information (CLI).

La CLI permet au centre de Saclay de présenter ses activités, dans la plus grande transparence. *« Il est apparu nécessaire de renforcer nos actions dans ce domaine, d'une part en communiquant bien en amont sur tous nos projets en matière d'environnement et, d'autre part, en informant les partenaires locaux et nationaux du déroulement précis des programmes mis en place en matière d'environnement »* précise Yves Bourlat, expert en radioprotection et responsable de la communication à Saclay *« La CLI fonctionne bien, régulièrement, avec beaucoup de sérieux, grâce à l'implication personnelle très forte de Michel Berson et Richard Messina, vice-président chargé de la recherche au conseil général, et de nombreux élus et représentants d'associations. »*

Parallèlement, Saclay a intensifié ses actions en direction du public avec un journal externe (*CEA Saclay, le journal*) diffusé à 10 000 exemplaires, des cycles de conférences ouvertes au public (Cyclope), des circuits de visites et des journées portes ouvertes. Il participe à des actions communes avec l'ensemble des acteurs du plateau de Saclay : association Île-de-science, Science en fête, expositions...




**10** : Les deux étangs de Saclay font l'objet d'une surveillance régulière de la part du CEA. En 1997 paraissait un livre sur les résultats d'une étude radiologique et chimique des dépôts sédimentaires prélevés en 1995. Depuis, deux nouvelles campagnes de prélèvements de sédiments par carottages entreprises en 2000 et 2002, ont permis de préciser les bilans radiologiques de ces deux étangs. La comparaison des résultats montre la bonne qualité radiologique des eaux usées rejetées après traitement par le CEA.



# La commission locale d'information (CLI), une nouvelle instance pour une communication ouverte

Le gouvernement de Pierre Mauroy en 1981, soucieux *« de modifier les procédures d'information des populations et des élus »*, décide *« de faciliter la mise en place auprès de chaque grand équipement énergétique d'une commission d'information, lorsque sa création répond aux souhaits des élus et de la population locale. Les équipements concernés sont les centrales électriques thermiques, classiques ou nucléaires, d'une puissance supérieure à 1 000 MW, les usines de retraitement des combustibles irradiés, les grands ouvrages hydroélectriques, les stockages souterrains de gaz. »*

**11** : Prélèvements effectués par des lycéens au niveau de l'étang vieux de Saclay.



11

Le conseil général de l'Essonne et le CEA conviennent d'installer le 29 décembre 1998 une Commission locale d'information (CLI) autour du centre de Saclay. Elle est composée de plus de soixante membres, à parité entre des élus locaux ou nationaux et d'autres instances (organisations syndicales ou professionnelles, associations, administrations, universitaires...). Cette commission répond au besoin d'information des élus, des associations et plus largement de la population sur les activités du site de Saclay et leur impact sur l'environnement. La CLI siège deux fois par an et a mis en place six groupes de travail thématiques qui se réunissent en moyenne chaque trimestre. Le CEA leur fournit les informations souhaitées sur les questions d'environnement, la gestion des déchets, les projets d'enquête publique, les incidents et les activités de recherche.

Dans ce cadre, différentes études et expertises sont réalisées. La première d'entre elles, portant sur l'hydrogéologie du plateau de Saclay, a été commandée au Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), afin de confirmer le cheminement de l'eau dans les sous-sols et d'apprécier les risques d'un éventuel transfert de pollution par des radionucléides. D'autres analyses seront ensuite confiées, par la CLI et le CEA sur demande de la préfecture, à des laboratoires indépendants tels que SUBATECH à Nantes, l'IPN d'Orsay, la CRII-Rad, le CRECEP de Paris ou encore le CEMRAD de Limoges. Elles porteront sur le taux de radioactivité des eaux pluviales, de surface ou souterraines, des sols et sédiments. Elles confirmeront les résultats des analyses publiées par le CEA et leurs faibles niveaux au regard des recommandations européennes.

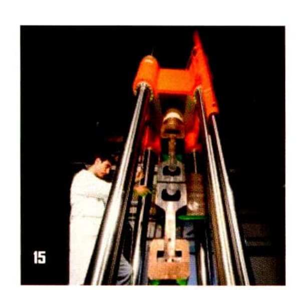



**12a** : Station d'épuration des eaux du centre CEA de Saclay.
**12b** : Forage d'un piézomètre au Val d'Albian.
**13** : Après avoir drainé une partie des eaux du plateau, le ru de Corbeville traverse le centre CEA de Saclay.

La CLI a également engagé durant le premier semestre 2000 une vaste campagne de prélèvements et de mesures de la radioactivité autour du centre, en y associant une centaine de lycéens de première scientifique dans le cadre d'une opération pédagogique. Le succès de cette opération a incité la CLI à renouveler l'expérience en 2002.

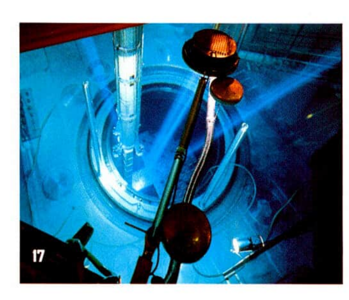

12a
12b
13
25

# ÉNERGIE NUCLÉAIRE : LA RECHERCHE EN AMONT

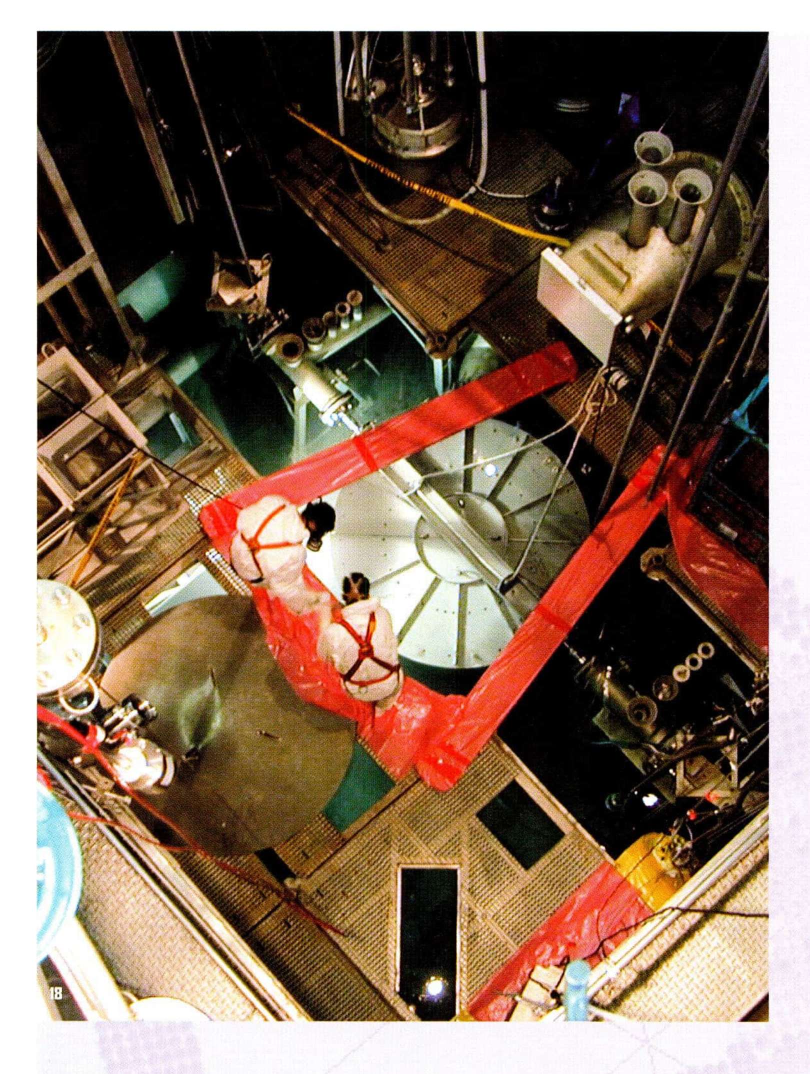










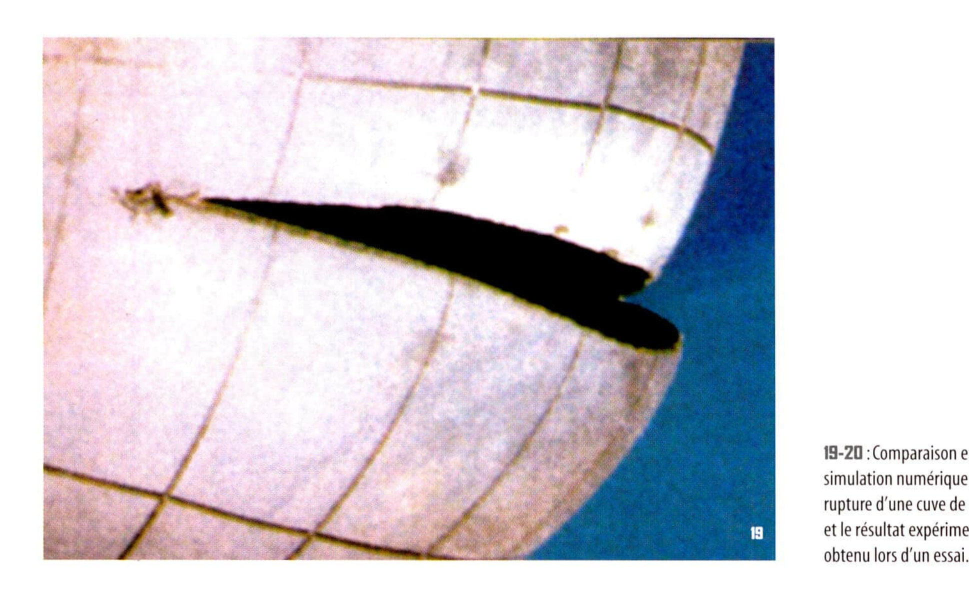



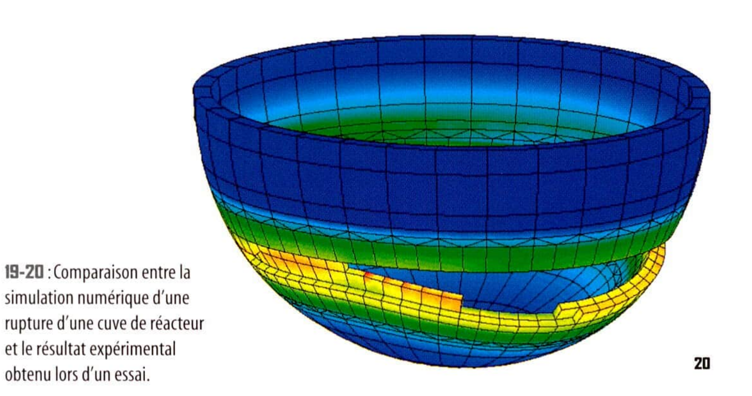
## Regrouper les compétences

Le 25 juillet 1998, sous le regard des exploitants et des chercheurs, un réacteur de nouvelle génération amorce sa réaction en chaîne. La centrale de Chooz dans les Ardennes, première du palier N4, de conception entièrement française, diverge. C'est le résultat des recherches menées par EDF et Framatome, avec la collaboration active du CEA. Ce dernier a apporté, dans le cadre des accords de recherche tripartite, un soutien actif aux industriels en contribuant aux études des deux grandes innovations du palier N4 : les générateurs de vapeur et l'automatisation de la conduite de la centrale.

Trois autres réacteurs du même type sont mis en service dans la foulée, un à Chooz et deux à Civaux, dans la Vienne. L'industrie nucléaire française complète et mature fournit 80 % de l'électricité nationale. Si les besoins de la France ne justifient pas l'engagement d'une nouvelle centrale, EDF et Framatome entendent bien valoriser leurs avances technologiques pour préparer un nouveau palier capable d'assurer le renouvellement des tranches en exploitation et partir à la conquête de l'international en exportant notamment onze centrales nucléaires complètes (Corée du Sud, Afrique du Sud, Chine, Belgique). Cogema réalise des percées à l'international, avec ses très grands produits, la fabrication des combustibles, leur traitement après passage dans les réacteurs, et l'enrichissement de l'uranium.

**14** : Centrale EDF Chooz B2.
**15** : Comportement mécanique des matériaux : mise en place d'une expérience avec une éprouvette de grande dimension (200 mm) sur une machine d'essai 2 500 kN.
**16** : Mistra : expérience permettant de comprendre les écoulements gazeux dans un réacteur en cas d'accident.
**17** : Centrale nucléaire de Daya Bay en Chine.
**18** : En 2001, le réacteur Osiris a été arrêté plusieurs mois afin de réaliser un chantier de jouvence essentiel pour son avenir : le remplacement du caisson cœur.





**19-20** : Comparaison entre la simulation numérique d'une rupture d'une cuve de réacteur et le résultat expérimental obtenu lors d'un essai.

En 1989; Framatome et Siemens signent un premier accord de coopération. C'est le démarrage du projet franco-allemand EPR (Euorpean Pressurized Reactor) qui associe EDF et les électriciens allemands, en vue de la réalisation d'un nouveau réacteur. L'objectif est de positionner durablement l'industrie nucléaire européenne face à la concurrence internationale.

L'EPR s'inscrit dans la continuité du nouveau palier N4. Cette troisième génération de réacteur à eau sous pression à une puissance proche de celle du modèle N4, soit de l'ordre de 1 500 MW. Le CEA participe aux études dans le cadre d'un accord tripartite signé avec EDF et Framatome en janvier 1992, et dans lequel s'insère un plan de recherche et de développement pour la période 1993-1997. Conçu dans un triple souci de sûreté accrue, d'économie et de gestion optimale de la fin du cycle du combustible, ce plan couvre plusieurs domaines d'études : les accidents majeurs, les systèmes de sauvegarde, le comportement des matériaux et des structures et enfin de nouvelles conceptions du cœur pour une meilleur utilisation des matières fissibles. Le concept d'EPR évalué par les deux autorités de sûreté française et allemande a reçu leur approbation et est désormais prêt à être déployé en France et à l'exportation.

Le CEA et son pôle énergie nucléaire ont engagé, en liaison avec les industriels, un réflexion prospective approfondie sur les réacteurs du futur, les réacteurs de quatrième génération, dont le concept devrai répondre aux exigences d'un développement durable. Leurs objectifs : l'économie, la sûreté, un rendement énergétique élevé, une minimisation de la production de déchets, une utilisation maximale des réserves de combustible nucléaire et une souplesse d'adaptation qui leur ouvrira des usages nouveaux pour le dessalement de l'eau de mer ou la production d'hydrogène, un combustible propre. Cette relance d'une réflexion pour le long terme se justifie par les qualités environnementales du nucléaire, en particulier en ce qui concerne l'effet de serre, et s'appuie sur les progrès accomplis dans la maîtrise des déchets. Elle est d'autant plus nécessaire qu'une pénurie d'hydrocarbures est inéluctable à terme et que les délais utiles à la mise en place d'une nouvelle filière énergétique sont longs, de 20 à 30 ans.

Après des années de réticences, de nombreuses voix s'élèvent aujourd'hui dans les pays industrialisés pour préparer cette échéance par des économies et un recours accru aux énergies renouvelables et au nucléaire. Depuis deux ans, les contacts se sont multipliés et des accords de collaboration importants se mettent en place. Le Forum génération IV, qui regroupe déjà la France, les USA, le Royaume-Uni, le Japon, la Corée, le Canada, le Brésil et l'Argentine, s'est engagé, après un long processus de sélection, à lancer des études sur une demi-douzaine de concepts. Réacteur à haute température, réacteur à gaz à spectre rapide, réacteur rapide à caloporteur métallique (sodium ou plomb) et réacteur à eau supercritique ou à sels fondus : l'éventail technologique est large et relance le besoin d'une recherche innovante. Dans ce contexte, le CEA reprend l'initiative d'une réflexion sur le long terme avec le gouvernement, en liaison étroite avec les industriels du secteur et en particulier EDF et le groupe AREVA.



## Des compétences essentielles

Dans ce nouveau contexte, Saclay tient toujours une place importante dans le domaine nucléaire. *« La majorité des recherches qui sont effectuées dans ce domaine se situent plutôt en amont. Elles ont donc besoin de toutes les compétences de recherche généralistes de Saclay »*, précise Jacques Bouchard, directeur de l'énergie nucléaire.

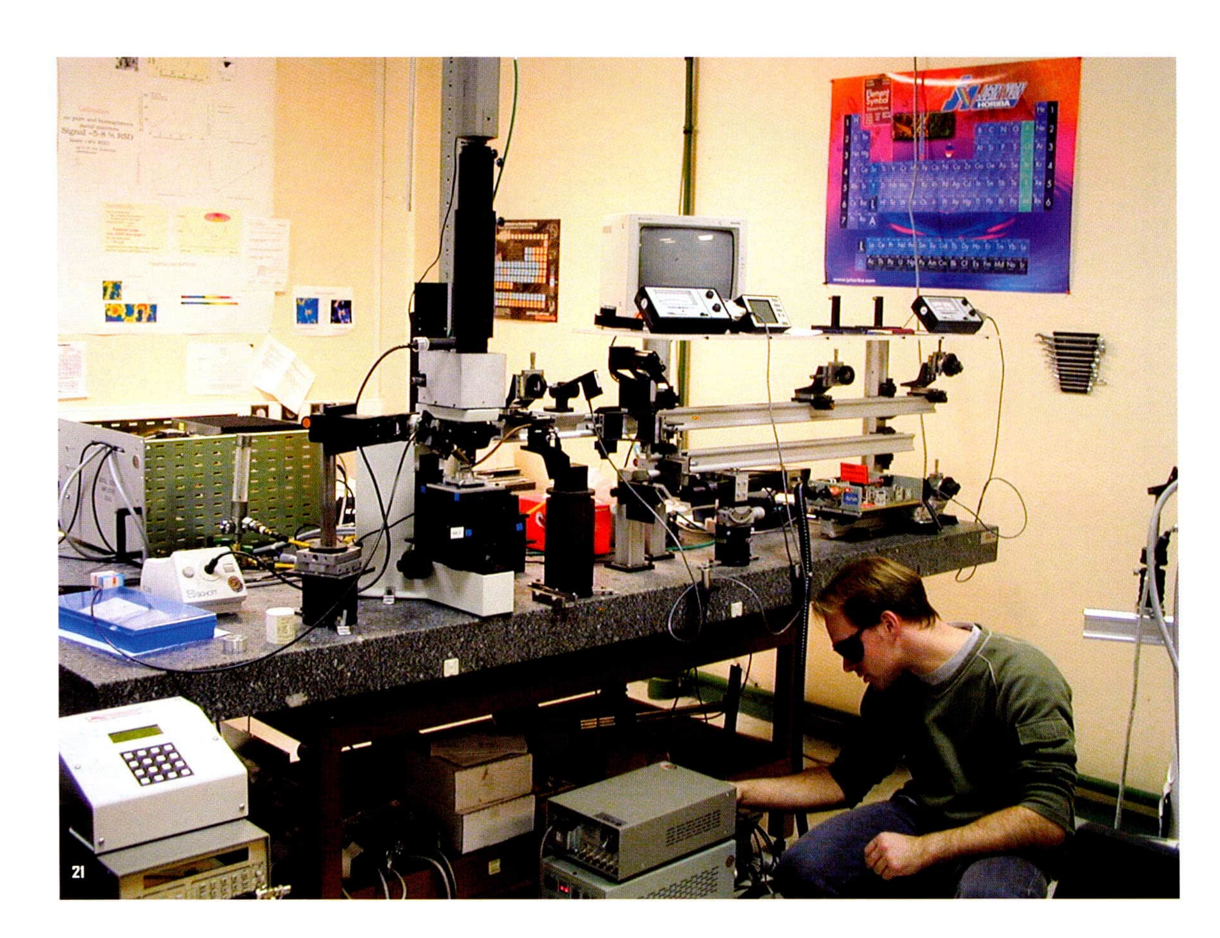
Ces recherches s'articulent aujourd'hui autour de trois thèmes principaux : la modélisation et la simulation numérique, les matériaux et la physico-chimie. Ils sont traités dans trois départements nouvellement formés mais issus d'une longue tradition.

Le Département de modélisation des systèmes et des structures (DM2S), successeur des grands services de physique des réacteurs des décennies précédentes, est placé au cœur des études des procédés. Il fait appel à des méthodologies de simulation devenues indispensables dans l'ingénierie et la sûreté nucléaire. Les méthodes s'appuient sur des modèles physiques validés expérimentalement permettant d'explorer numériquement une grande variété de concepts et de régimes de fonctionnement et de sélectionner les solutions les plus performantes. C'est ainsi qu'on peut évaluer la durée de vie des composants des réacteurs, leur résistance à des situations imprévues, améliorer les rendements. La simulation intègre dans des ensembles complexes de codes des

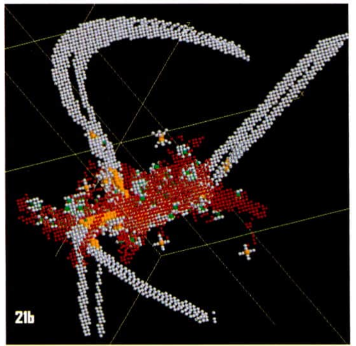
# Le PELECI, une installation dédiée à l'étude des matériaux pour le nucléaire

Depuis les années 90, les études sur les combustibles ont été progressivement transférées à Cadarache et le LECI s'est réorienté vers la métallurgie des matériaux irradiés, leur caractérisation étant effectuée dans les Laboratoires de haute activité (LHA).
Le Projet d'équipement du laboratoire d'examen des combustibles irradiés (PELECI) regroupe ces deux activités au sein d'un LECI agrandi et rénové. Le cahier des charges du PELECI a été établi par le cente de mécanique et de métallurgie des matériaux irradiés (C3MI), structure de coordination mise en place en 1994 par la direction des réacteurs nucléaires et la direction des technologies avancées. Le C3MI est à l'origine de la création, à l'occasion de la réorganisation de 2001, du département des matériaux nucléaires.
Le bâtiment du PELECI a été achevé en 2001 et les cellules sont actuellement en cours d'assemblage. L'exploitation devrait démarrer au début de 2004.





21 : L'ablation laser est utilisée au DPC comme moyen d'analyse élémentaire de surface avec une spécialisation dans le domaine de la microanalyse (quelques microns carrés).



21b : Simulation par dynamique moléculaire des effets de l'irradiation.

domaines aussi divers que la neutronique, la physique du cœur, la thermomécanique, la résistance aux séismes et aux vibrations.

Le Département des matériaux pour le nucléaire (DMN) investit dans la recherche et la qualification de matériaux de construction des réacteurs et des combustibles sous toutes leurs facettes. Sa devise : de l'atome à l'objet industriel, qu'il s'agisse d'une cuve de réacteur, d'une barre de combustible ou de contrôle. Métallurgie, fluage, résistance mécanique sont décortiqués pour établir des modèles de comportement qui seront injectés dans la simulation et contribueront aux règles de conception et de fabrication des objets du nucléaire.

Le Département de physico-chimie (DPC) s'attache à l'interface entre l'objet, le matériau et son environnement. Il fait appel à de puissants outils d'analyse physique et chimique des surfaces, à des essais de corrosion, à des mesures nucléaires ultra sensibles et sélectives. Son activité couvre tout le spectre de la technologie nucléaire : tenue à la corrosion du circuit primaire des réacteurs, tenue du béton, migration des radioéléments dans la géosphère, stabilité chimique des colis de déchets, par exemple.

L'objectif de ces trois départements dans les années à venir sera de guider les choix, de contribuer à optimiser l'effort de recherche puis d'analyser et prévoir très précisément les performances des systèmes du futur pour donner aux décideurs les éléments de jugement et de choix nécessaires.

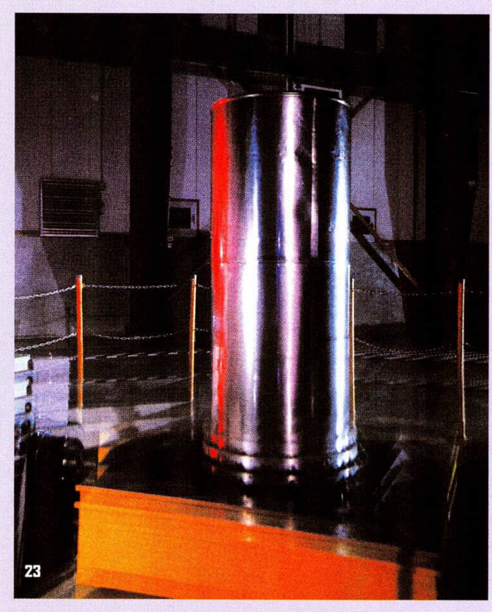


# Des études sismiques à Tamaris

1968, le site de Saclay construisait sa première table vibrante, Vésuve, pour étudier la réponse sismique des empilements des cœurs de la filière graphite-gaz. C'est de cette époque que datent les premières études vibratoires, cette compétence étant née d'un souci de sûreté. En 1990, Hubert Curien, ministre de la Recherche et de la Technologie et Philippe Rouvillois, administrateur général, inaugurent le nouveau laboratoire Tamaris, une installation expérimentale de simulation des séismes par tables vibrantes.

Installées dans un hall de 800 mètres carrés, les quatre tables vibrantes Vésuve, Mimosa, Tournesol et Azalée, qui peuvent simuler des mouvements verticaux et horizontaux, sont regroupées sur un massif de béton de 2 500 tonnes, réalisé en une seule coulée pour éviter tout plan préférentiel. Cet ensemble de moyens d'essais est le plus important d'Europe pour l'étude de phénomènes dynamiques (séismes, vibrations, impacts). Il permet de reproduire fidèlement des mouvements sismiques et d'observer de manière détaillée la résistance de matériels très divers à grande échelle (cuve de réacteurs, pompes, baies électroniques, structures en béton…). Ces études répondent efficacement aux besoins du nucléaire et à ceux provenant d'autres secteurs industriels.





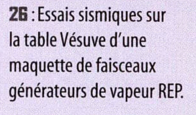


**22** : Hubert Curien, ministre de la Recherche, et Alain Hoffmann, chef du Département de mécanique et de technologie à l'inauguration de Tamaris.

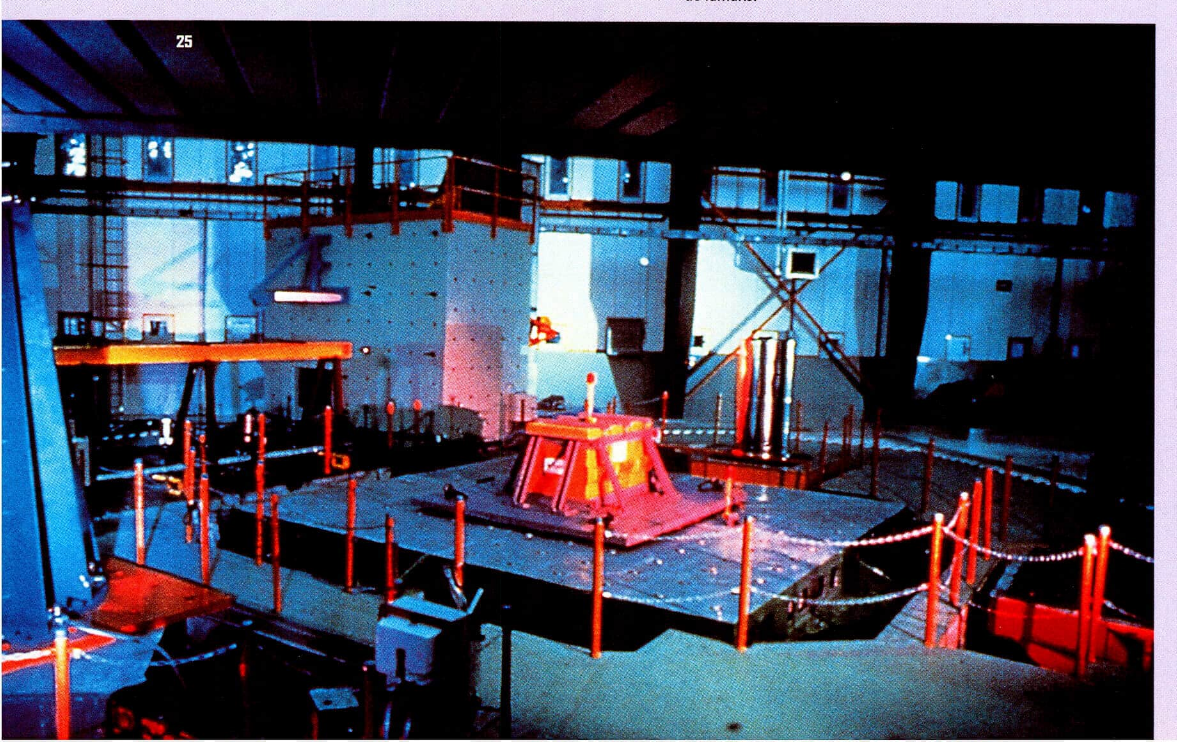
**23** : Essais sismiques d'un réservoir sur la table Mimosa.

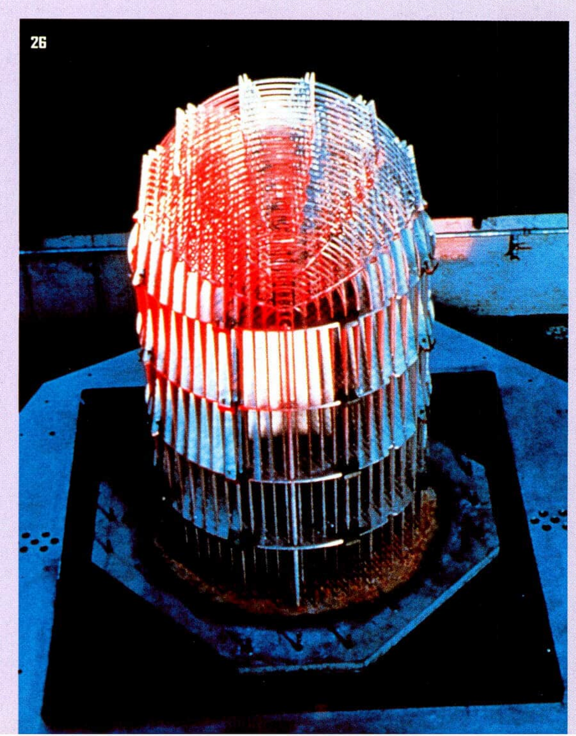
**24** : Expérience CASSBA (comportement au séisme des structures en béton armé).

**25** : Azalée, la plus grande table européenne pouvant embarquer des maquettes de 100 tonnes.



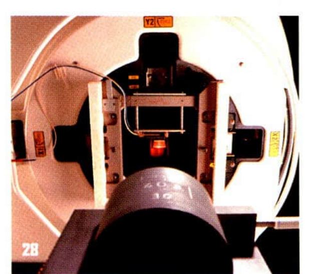
**26** : Essais sismiques sur la table Vésuve d'une maquette de faisceaux générateurs de vapeur REP.



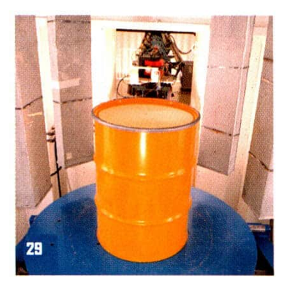


27

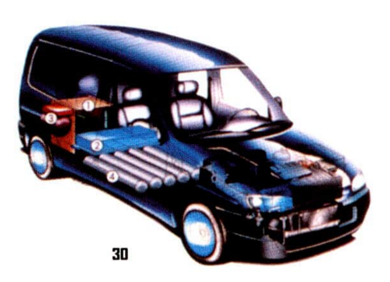
# RECHERCHE TECHNOLOGIQUE : DES APPLICATIONS INNOVANTES



28



29



30



L'un des faits marquants de la réorganisation de 2001 est la création d'un pôle recherche technologique. Ce dernier se situe, bien sûr, dans la filiation de la Direction des technologies avancées, mais cette fois en s'insérant dans une vraie stratégie de développement articulée autour d'un projet industriel mis en œuvre avec la création du groupe AREVA qui réunit, en dehors du secteur nucléaire, plusieurs filiales dans le domaine des nouvelles technologies. *« La nouvelle organisation opère une sorte de réajustement en faveur des nouvelles technologies qui se sont développées au CEA en valorisant l'expertise et les technologies développées dans le nucléaire »*, rappelle Christian Desmoulins, directeur de ce secteur.

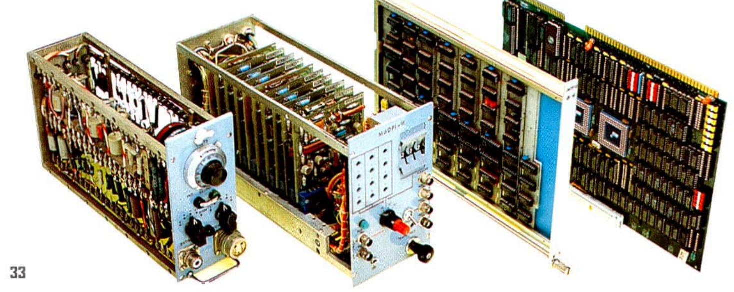
Le nouveau pôle de recherche technologique du CEA est désormais le premier centre de recherche technologique français. Il contribue activement à la compétitivité des entreprises avec plus de 1 200 contrats de recherche leur permettant des applications innovantes. La Direction de la recherche technologique s'articule autour de trois grands axes de recherche et développement majeurs : les technologies de l'information et de la communication, les matériaux émergents et les nouvelles technologies de l'énergie.

**27** : Support des composants soumis à irradiation $\gamma$
**28** : Programme Delphes : accélérateur médical pour définir les références nationales en métrologie de la dose $\gamma$.
**29** : SAPHIR : système d'activation photonique et d'irradiation pour caractériser des déchets radioactifs par interrogation photonique active.
**30** : Prototype Hydro-Gen, présenté par PSA début 2001 et développé dans le cadre d'un programme européen associant plusieurs partenaires industriels et scientifiques : PSA Peugeot-Citroën, Air Liquide, le CEA, Nuvera, Renault, Solvay...
**31** : La CVD (*Chemical Vapor Deposition*) par plasma micro-onde permet la croissance de films de diamant polycristallin.

32

Les études sur les technologies de l'information et de la communication sont très présentes historiquement à Grenoble, au Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information qui, avec plus de 1 000 personnes, est le plus grand laboratoire de recherche et de développement français en micro et nanoélectronique, formant un pôle d'excellence mondialement reconnu. Dans ce domaine, le LETI entretient des relations très étroites avec les équipes de recherche fondamentale de la Direction des sciences de la matière à Saclay, cette synergie entre recherche fondamentale et appliquée étant particulièrement fertile dans cette spécialité en évolution ultra rapide.

Aux côtés du LETI, un nouveau laboratoire, le Laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies (LIST) regroupe les compétences de Fontenay-aux-Roses et Saclay sur les systèmes complexes avec trois thèmes stratégiques : les systèmes embarqués



33

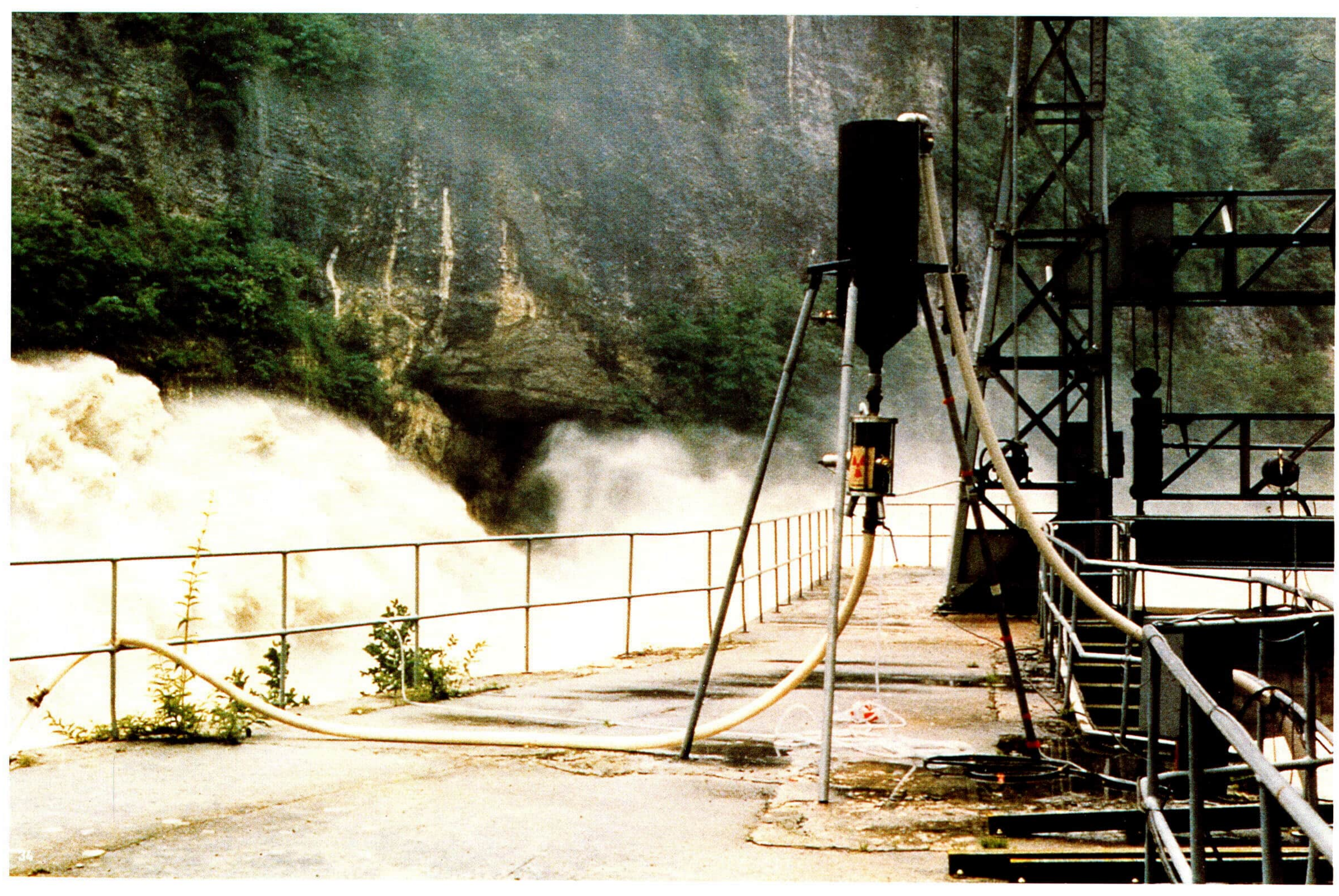
**32** : Pneu test dans les années 60 : contrôle des pneus d'avion par instrumentation utilisant des rayonnements ionisants.
**33** : Évolution de l'instrumentation sur 40 années : standard à tubes, Renatron, Camac, multibus, Asic.

**34** : Contrôle de la turbidité (densité) des eaux de chasse du barrage de Génissiat.

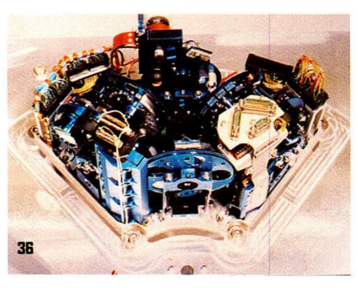


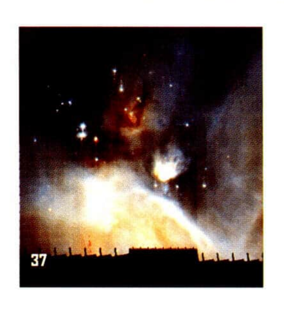
(dans les avions, les voitures...), l'interface homme-machine (en particulier par les salles de commande des réacteurs) et l'instrumentation « intelligente ». Le Département de l'instrumentation et de la métrologie des rayonnements ionisants (DIMRI) en fait partie. Il a recentré ses compétences dans le domaine des détecteurs, des mesures nucléaires, de l'électronique et des fibres optiques. En son sein, le Laboratoire national Henri Becquerel, l'une des composantes du Bureau national de métrologie, est chargé de la mesure et de l'étalonnage des différentes sources de rayonnements ionisants notamment pour la radiothérapie, où les doses délivrées aux patients doivent être connues avec une grande précision.

Dans le domaine des matériaux, deux approches sont privilégiées. La première conduit à valoriser des savoirs répondant à des besoins à court terme du marché avec la réalisation de nouveaux procédés d'assemblage, l'allégement de structures par la mise au point d'alliages et l'élaboration de matériaux de substitution. La seconde, plus prospective, s'efforce d'identifier des matériaux innovants à fort potentiel de développement, et à les mettre au point : nanomatériaux, matériaux modifiés par irradiation ou biomatériaux... En dernier lieu, la Direction de la technologie s'est vu confier par le CEA le pilotage de l'ensemble des recherches de l'organisme sur les nouvelles technologies de l'énergie. Ces études s'articulent autour de plusieurs grands thèmes : l'hydrogène et les piles à combustible qui pourraient apporter dans l'avenir une solution de remplacement des hydrocarbures pour des transports propres, l'énergie photovoltaïque et enfin l'utilisation rationnelle de l'énergie. La mise au point d'une filière hydrogène pour les transports fait partie des objectifs majeurs à long terme du CEA, et mobilise l'ensemble de ses pôles, depuis la recherche de base jusqu'à la production d'hydrogène à partir de l'énergie nucléaire (réacteurs à hautes températures ou électrogènes) et la mise au point des motorisations.

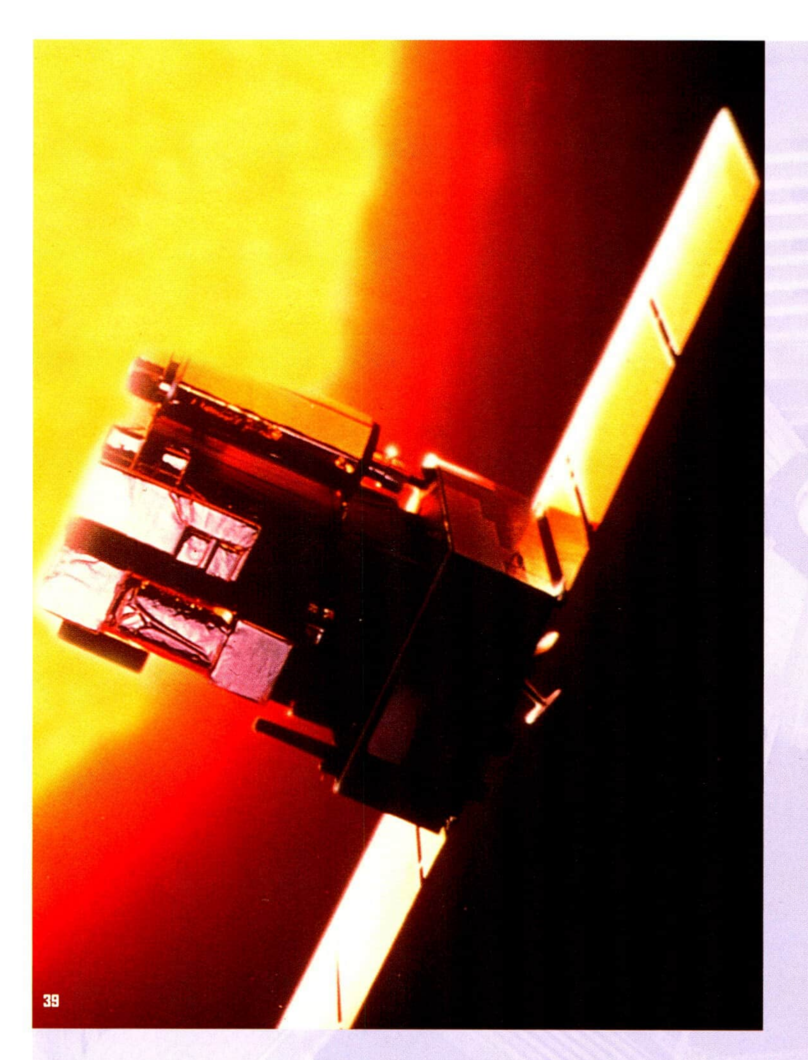


# RECHERCHE FONDAMENTALE : DE NOUVEAUX ENJEUX


36


37


38



39

## De nouveaux moyens pour la recherche en physique

L'astrophysique, la physique des particules et la physique nucléaire sont aujourd'hui étroitement associées. Ce sont en effet des disciplines assez proches, faisant appel à des moyens de mesure physique identiques. Elles requièrent, par ailleurs, une culture de projet adaptée aux grands programmes nationaux et internationaux, réclamant rigueur et polyvalence. Par exemple, les physiciens des particules s'intéressent depuis longtemps à l'astrophysique et contribuent à un programme sur la détection des neutrinos solaires : l'expérience Gallex. Ce sont eux aussi qui ont lancé l'expérience EROS, qui porte sur la matière noire, dite froide, et nécessite l'analyse de millions d'étoiles… Le rapprochement entre la physique des particules et l'astrophysique s'est donc opéré assez naturellement. « *Puis, s'est ajoutée la physique nucléaire, qui a constitué la base de la formation des physiciens des particules élémentaires. Pour ces particules comme pour le noyau, les techniques de détection sont identiques et, avec le temps, la frontière entre les deux physiques disparaîtra* », explique à l'époque René Turlay, premier responsable du Département d'astrophysique, de physique des particules, de physique nucléaire et de l'instrumentation associée.

**35** : La caméra MEGACAM sera la plus grande au monde lors de son installation à l'observatoire CFH de Hawaii. Avec un champ de vue de 1° (deux fois le diamètre du Soleil) et plus de 360 millions d'éléments de résolution, cette caméra CCD à grand champ va permettre de dresser la carte de très grandes régions de l'Univers, de sonder la répartition et l'évolution des galaxies sur de grandes distances et également de détecter les plus lointaines explosions d'étoiles et les corps les plus petits du système solaire.

**36** : ISOCAM : caméra embarquée à bord du satellite ISO.

**37** : Observation de l'univers : nuage RHO Ophiuchi.

**38** : Laboratoire de recherche en hémato-immunologie à l'hôpital Saint Louis qui rassemble une équipe de chercheurs du CEA.

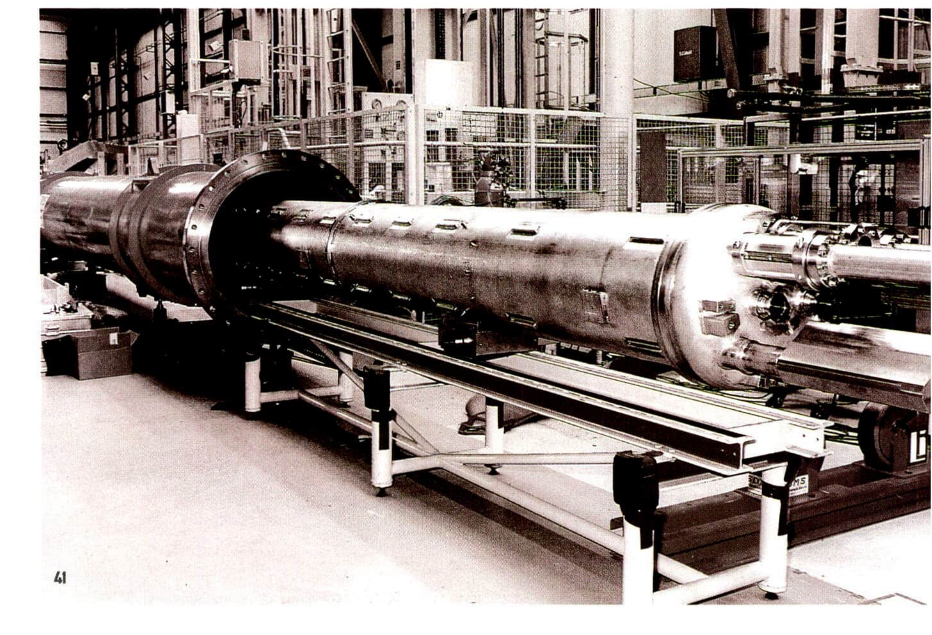
**39** : Satellite Soho pour l'étude du soleil.

Pour les équipes de Saclay, les années 1990 sont riches en événements dans le domaine de la physique des particules. Le 2 mars 1995, les douze particules élémentaires sont au complet, avec la découverte du quark top, dernier des six quarks constituants ultimes de la matière. Pour le traquer, 400 chercheurs du monde entier se sont donné rendez-vous au laboratoire Fermi de Chicago. Ils ont réalisé une expérience unique sur le collisionneur Tevatron, qui a permis de porter l'expérience aux plus hautes énergies pendant quelques secondes. Dix chercheurs français de Saclay participent très largement à l'expérience, en implantant dans l'un des deux principaux détecteurs Dzéro leur appareil TRD *(Transition Radiation Detector)* permettant de repérer finement l'électron susceptible de révéler la présence de la fameuse particule.

Dans le même temps, théoriciens et physiciens s'attachent à vérifier le modèle standard, ce modèle théorique qui rassemble les connaissances sur les constituants de la matière et les interactions qui les lient. Cependant, l'un des mystères demeure : d'où viennent ces particules et comment expliquer leur diversité ? L'explication remonterait à la naissance de l'Univers. De masse originellement

**40** : Chambre à fils installée sur l'accélérateur GSI de Darmstadt (Allemagne) pour la détection de traces de particules.

**41** : Un des quadripôles du Large Hadron Collider (LHC) dans son enceinte d'hélium prêt pour être livré au CERN.







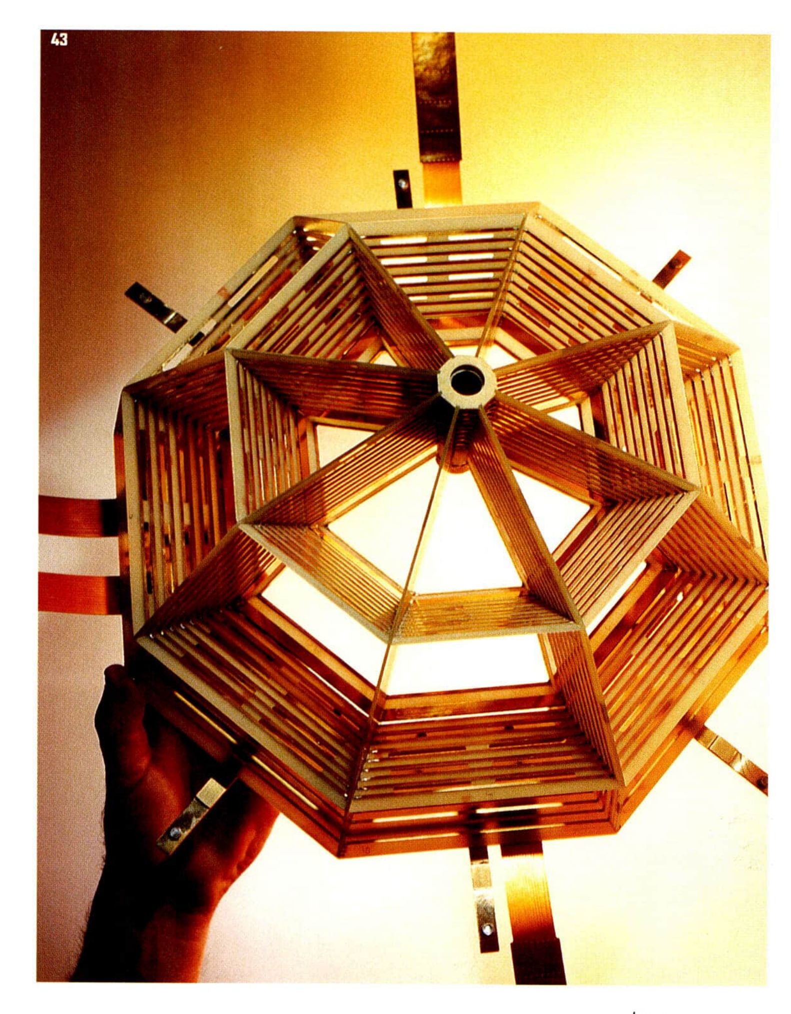
**42** : Antares ouvre une fenêtre d'exploration de l'Univers sur de grandes distances à haute énergie par la détection de neutrinos d'origine cosmique. Immersion des premiers modules en Méditerranée destinés à capter la lumière Tcherenkov émise suite à leur interaction dans la matière.

**43** : Indra : détecteur de particules chargées pour l'étude des noyaux portés dans des états extrêmes d'excitation. Le premier étage de détection est composées de chambres d'ionisation développées à Saclay permettant la détection des noyaux de basse énergie émis lors des collisions d'ions lourds au Ganil.

équivalente, les particules auraient évolué différemment en raison d'une brisure de symétrie, dont le responsable serait le boson de Higgs (du nom de son inventeur). La découverte du fameux boson permettrait de valider ou d'infirmer cette théorie. Les physiciens profitent d'une montée en puissance du LEP pour tenter de le débusquer. Mais l'acquisition de nouvelles données qui pourraient correspondre à la manifestation du boson de Higgs s'effectue juste avant l'arrêt programmé du LEP. Le CERN a décidé en 1995 de le remplacer par un accélérateur plus puissant, le LHC *(Large Hadron Collider)*, dont le démarrage, prévu d'abord pour 2005, est reporté à 2007.

Cette recherche obstinée du comment et du pourquoi de l'Univers et de la matière vit donc au rythme des formidables instruments construits pour briser les atomes et détecter les particules les plus élémentaires. La physique des particules, aujourd'hui orpheline de l'arrêt du LEP à Genève, est impatiente de voir son successeur mis en service. La question des moyens consentis pour cette discipline, qui demande de lourds investissements sans déboucher sur des résultats immédiatement exploitables, reste posée. Elle est de surcroît difficilement accessible pour le grand public. « *En physique, plus que dans tout autre secteur de recherche, on mesure la dimension sociétale de la recherche. D'où la question légitime : quels moyens une société est-elle prête à engager pour financer une recherche dont le but est, pour l'heure, la progression et l'amélioration de la connaissance?* », s'interroge François Gounand, Directeur des sciences de la matière.

Pour l'avenir, les physiciens misent sur la dynamique du LHC qui sera, avec ses 27 kilomètres de circonférence, le plus grand et le plus puissant des accélérateurs du monde. Plusieurs services du DAPNIA à Saclay participent depuis quelques années à la conception de certaines parties du détecteur Atlas du LHC, tels les aimants supraconducteurs et les systèmes optiques des chambres à muons, le calorimètre à argon liquide ainsi que l'électronique et l'ensemble de la cryogénie associée. En avril 2003, le détecteur de particules Atlas logé dans son immense caverne sera fin prêt. Un volumineux cylindre de métal de plusieurs milliers de tonnes, haut de cinq étages, truffés d'aimants supraconducteurs, de composants électroniques et de microprocesseurs, qui enserrent un réservoir, le calorimètre, rempli de plusieurs tonnes d'argon liquide ultra-froid. C'est là que se feront les expériences du futur destinées à sonder toujours plus loin la matière… En attendant, les physiciens de Saclay participent à des expériences comme BaBar (pour l'antiparticule B-barre ou $\bar{B}$) réalisé sur l'accélérateur de Stanford aux États-Unis. Le détecteur BaBar cherche à observer avec des mésons beaux (méson B) un phénomène qui pourrait expliquer l'asymétrie matière/antimatière dans l'Univers.



La recherche fondamentale s'intéresse également à des domaines plus proches de l'énergie nucléaire. Des études portent, par exemple, sur la compréhension des mécanismes de la chimie séparative pour le traitement des combustibles usés et sur les processus physiques de la transmutation des déchets nucléaires. Les physiciens coordonnent les études préliminaires d'un accélérateur capable de produire différents faisceaux de particules (protons, neutrons, noyaux exotiques, muons). Cet accélérateur, appelé Concert, qui s'inscrit dans le cadre d'un ambitieux projet européen, constituerait un outil précieux pour les études menées sur les réacteurs nucléaires et la gestion des déchets.

Dans le domaine de l'énergie toujours, le CEA est le partenaire français des recherches menées en association avec Euratom sur la fusion nucléaire, considérée comme l'une des énergies du futur. Les chercheurs parisiens travaillent en liaison avec ceux de Cadarache où se trouve le Tokamak Tore-Supra. Ils participent également à des expériences sur la machine européenne JET et sont impliqués dans les études du projet international ITER. Il s'agit, cette fois, de réaliser une machine destinée à obtenir des plasmas émettant une puissance de fusion de 400 MW pendant 500 secondes : un record quand on sait que la puissance sur les autres installations ne dépasse pas 20 MW. Le CEA et le ministère de la Recherche ont proposé d'installer la nouvelle machine sur le site de Cadarache. Fort de son expérience de longue date, le CEA entend bien prendre toute sa place dans le domaine de la fusion contrôlée qui sera peut-être la grande aventure scientifique des prochaines décennies.

# Le synchrotron Soleil sur le plateau de Saclay

Les équipes du CEA de Saclay et du CNRS qui ont réalisé l'avant-projet de la future source de rayonnement synchrotron de troisième génération, Soleil, peuvent se réjouir : la nouvelle machine sera installée à proximité du centre de Saclay sur un terrain le long de la RN 306. Sa construction est financée grâce à un partenariat interrégional et européen, largement soutenu par la région Île-de-France et le département de l'Essonne qui ont joué un rôle essentiel pour le choix du site. Le synchrotron Soleil, qui devrait produire ses premiers photons en 2005, représente un outil majeur pour la recherche fondamentale comme pour la recherche appliquée. Le rayonnement synchrotron présente des propriétés proches de la lumière laser, avec des faisceaux de rayonnement X de très grande intensité et extrêmement fins, et aura de nombreuses applications. Il permettra, par exemple, de déceler et d'analyser des traces infimes de polluants industriels dans les sols et les plantes, d'étudier des protéines et leurs structures. Enfin, il pourra être utilisé pour l'étude des matériaux tels que les alliages métalliques, les polymères, les plastiques ou les biomatériaux, etc. Pour le centre de Saclay, cet outil d'analyse puissant va venir compléter le potentiel d'investigation du plateau de Saclay qui bénéficie déjà des faisceaux de neutrons d'Orphée, de l'émetteur de faisceaux laser de très haute puissance et de faisceaux laser pulsé ultra-rapide.

**44** : Projet Soleil.





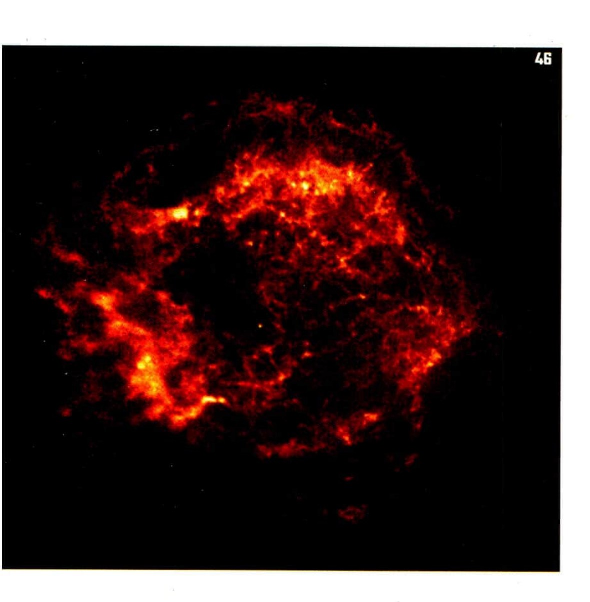

## L'essor de l'astrophysique

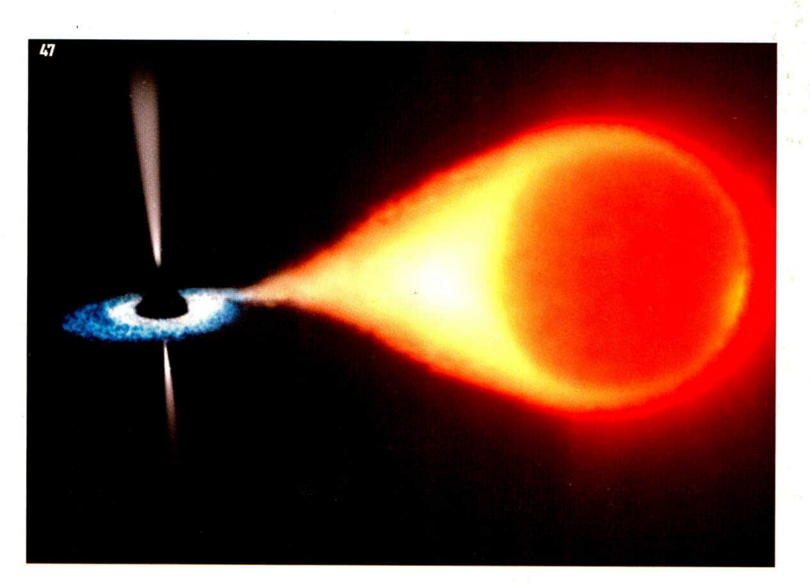
Les deux dernières décennies se caractérisent par un fort développement de l'astrophysique à Saclay. Le centre figure aujourd'hui comme l'un des premiers laboratoires d'astronomie spatiale en France. Travaillant pour et dans l'espace, il apporte son expérience et son savoir-faire au Centre national d'études spatiales (CNES), à l'Agence spatiale européenne (ESA) et à la NASA (*National Aeronautics and Space Agency*). Le service déploie ses activités dans plusieurs directions : conception et réalisation d'instruments d'observation spatiaux ou au sol, réception et mise en forme des données, interprétation et modélisation des phénomènes astrophysiques. Leur but : scruter le ciel pour identifier tous les phénomènes qui s'y déroulent, de la naissance d'une étoile jusqu'à sa mort, lorsqu'elle explose sous forme de supernovæ en émettant des rayonnements X. Toutes les informations sur les particules et les rayonnements cosmiques sont passées au crible, notamment celles du rayonnement électromagnétique. Le CEA collabore ainsi à plusieurs programmes spatiaux d'observation depuis des équipements au sol ou installés sur des satellites. Dans ce domaine, le CEA a des atouts solides car il peut constituer facilement les équipes pluridisciplinaires indispensables au développement de détecteurs ou de télescopes de haute performance.

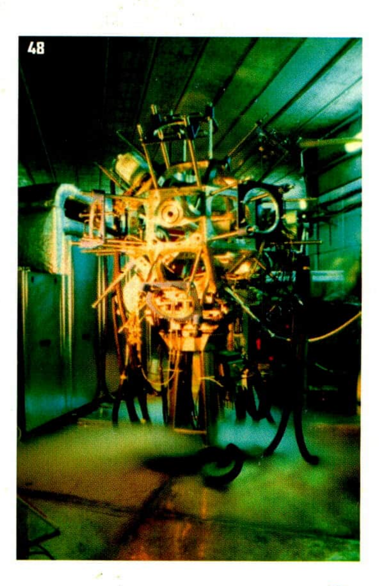
Depuis 1983, le Service d'astrophysique s'est engagé dans une phase intense d'étude et de réalisation de projets, par exemple, le télescope gamma SIGMA construit par le CEA et le centre d'étude spatial de Toulouse, embarqué depuis 1989 sur le satellite russe Granat.



**45** : Satellite INTEGRAL en cours d'intégration dans la salle blanche de la société ALENIA en Italie en mai 2001. Les services du DAPNIA avaient en charge le développement d'une partie des deux instruments SPI et IBIS, qui constituaient la charge utile scientifique du satellite.
**46** : L'image en rayons X d'une explosion d'étoile qui a eu lieu il y a 320 ans dans la constellation de Cassiopée. À l'intérieur de ces débris, les astronomes peuvent mesurer précisément grâce aux rayons X la quantité d'éléments chimiques fabriqués au cœur de l'étoile et maintenant rejetés dans l'espace pour former d'autres étoiles.
**47** : Une vision d'artiste de l'aspect probable d'un trou noir avalant la matière première d'une étoile proche. Entouré d'un disque, le trou noir rejette une partie de cette matière sous forme d'un jet. Ce genre de couples d'étoiles est activement recherché dans la galaxie pour comprendre le comportement de la matière sous son état le plus dense connu et tester certaines prédictions de la théorie de la relativité…
**48** : Exogam. Spectromètre gamma pour l'étude des noyaux exotiques en cours de montage au Ganil.







Dans les années 90, chercheurs, ingénieurs et techniciens participent, dans le cadre d'une vaste collaboration internationale, à la réalisation de la caméra à infrarouge ISOCAM montée à Saclay pour équiper le satellite ISO lancé en orbite autour de la Terre en 1995 pour observer les régions de formation des étoiles et les jeunes galaxies. Le CEA est également associé à la réalisation d'une caméra embarquée sur le satellite INTEGRAL en vue de l'exploration des sites émetteurs de rayonnements gamma et à celle de la caméra EPIC embarquée sur le satellite XMM pour détecter les raies X émises par l'explosion des étoiles sous forme de supernovæ. Aujourd'hui, il travaille, par exemple, sur la caméra submillimétrique qui équipera le satellite Herschel de l'Agence spatiale européenne (ESA) pour observer les poussières émises par les étoiles jeunes. Les équipes mettent aussi au point la plus grande caméra optique CCD au monde qui sera montée sur le télescope CFHT à Hawaï.

## De la datation à la climatologie

Le CEA s'est fait, dès l'origine, une spécificité des techniques de datation impliquant les mesures isotopiques et les radio-isotopes tels que celles utilisant le carbone 14. Histoire de l'homme, état des fossiles et des objets anciens, le champ d'application est immense… Le tandétron, un accélérateur couplé à un spectromètre de masse, permet aux chercheurs de procéder à des datations très précises à partir du carbone 14, tout en ne prélevant que des quantités d'échantillons infimes, de l'ordre du milligramme. D'autres méthodes sont mises au point par les équipes CNRS/CEA du centre des faibles radioactivités : l'utilisation de la thermoluminescence pour dater les silex ou encore le potassium-argon que l'on utilise en géologie pour dater les roches. Cette technique permet, par exemple, de dater une coulée de lave et de savoir à quelle époque elle s'est refroidie. En outre, le centre de Saclay, associé au laboratoire du CNRS de Gif-sur-Yvette, dispose pour ses recherches d'un extraordinaire stock de carottes glaciaires prélevées dans les glaciers polaires, en particulier dans le cadre d'une collaboration avec les russes.

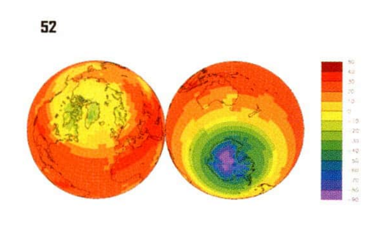
Ces méthodes, mariées aux compétences du CEA en matière de mesure en temps réel et de collecte de données à distance d'une part, de modélisation et de simulation numérique d'autre part, ont servi de base au développement d'un programme de modélisation du climat et de l'environnement pour étudier l'effet de serre. Les premières études débutent après la découverte des possibilités offertes par l'oxygène 18 et surtout par le deutérium, qui constitue un extraordinaire outil pour connaître les variations climatiques. Au moyen de divers procédés comme la mesure du cycle du carbone ou l'analyse des sédiments marins et de carottes forées au Groenland et en Antarctique, les chercheurs se sont efforcés de modéliser les variations climatiques passées afin d'établir des prévisions… C'est à cette mission que travaille le groupe de chercheurs CEA/CNRS regroupé au sein du Laboratoire de modélisation du climat et de l'environnement (LMCE) créé en 1992. Aujourd'hui face aux inquiétudes suscitées par les émissions de gaz à effet de serre et leurs conséquences sur le réchauffement de la planète, le laboratoire a orienté ses travaux vers l'étude des climats du futur. Il joue un rôle de premier plan dans l'amélioration des modèles de prédiction du climat en prenant en compte toutes les données de variabilité climatique : scénarios de consommation de combustibles fossiles, programmes de forestation ou déforestation, réaction de la biosphère dans ses composantes atmosphériques, telluriques et océaniques. Les modèles actuels, encore imparfaits malgré des progrès considérables, prévoient des augmentations de température pouvant aller de deux à six degrés en moyenne avec des conséquences difficiles à évaluer. Dans ce contexte, la climatologie devient l'une des disciplines majeures du CEA et les enjeux environnementaux imposent d'intensifier la politique de recherche dans ce domaine. C'est dans cette optique que le LMCE, devenu en 1998 le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), a rejoint l'Institut Pierre Simon Laplace qui regroupe les six laboratoires franciliens travaillant dans ces disciplines.




**49** : Satellite XMM lors de son intégration dans les locaux de l'ESA aux Pays-Bas.
**50** : Prélèvement d'une carotte de glace.
**51** : Peintures pariétales de la grotte Cosquer (Bouches-du-Rhône).
**52** : Reconstitution de la température au dernier maximum glaciaire (il y a 21 000 ans) par le modèle LMDZ.
**53** : Le contenu relatif en hydrogène léger et en deutérium de la glace est mesuré avec une grande précision grâce au spectromètre de masse construit à Saclay dans les années 70. On en déduit la température qui régnait lors des chutes de neige qui ont construit la couche de glace. Ainsi, en analysant les carottes de glace extraites à Vostok, le LSCE a pu reconstruire les variations climatiques en Antarctique durant les quatre cycles glaciaire-interglaciaire des 400 000 dernières années.




52





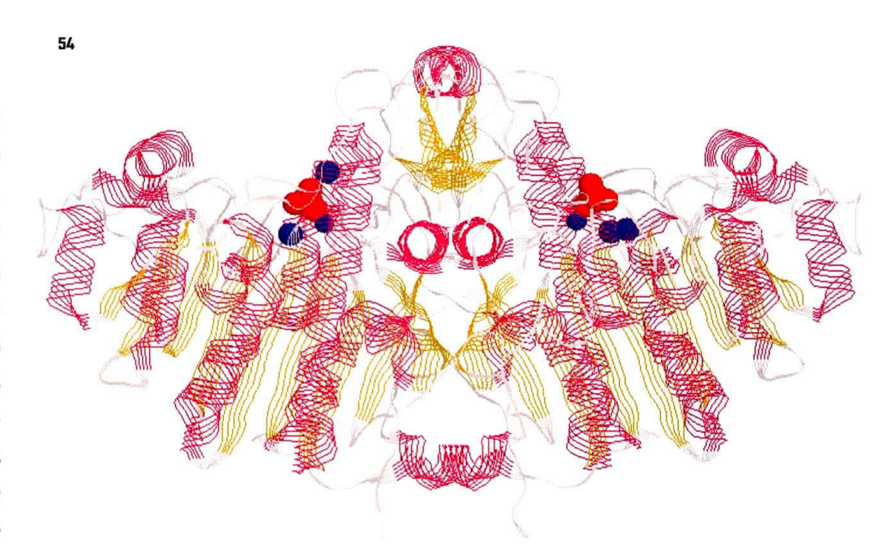



# L'expansion des sciences du vivant

*« Travailler "par et pour le nucléaire", tel est le credo de la Direction des sciences du vivant qui doit sa réussite à la formidable cohérence de ses recherches depuis les origines du CEA »* rappelle André Syrota, directeur des sciences du vivant. Cette recherche s'articule autour de deux axes principaux : les applications des technologies issues du nucléaire dans les domaines biologiques et médicaux et l'étude des effets sur le vivant des rayonnements et des toxiques issus des activités nucléaires. Pour assurer une meilleure coordination des recherches, une mise en réseau des compétences et une optimisation des moyens, la direction des sciences du vivant a tissé des liens forts avec les universités et les autres organismes de recherche (CNRS, Inserm, Inra, Service de santé des armées, Assistance publique-hôpitaux de Paris).

Les recherches sur l'évaluation de l'impact de l'énergie nucléaire, notamment dans le domaine des faibles doses, ont pour objectif de fournir les bases scientifiques nécessaires à l'élaboration d'une réglementation objective. Ces études s'organisent en deux disciplines : la radiobiologie et la toxicologie nucléaire. Elles ouvrent un champ immense de recherches en direction des « stress »

54



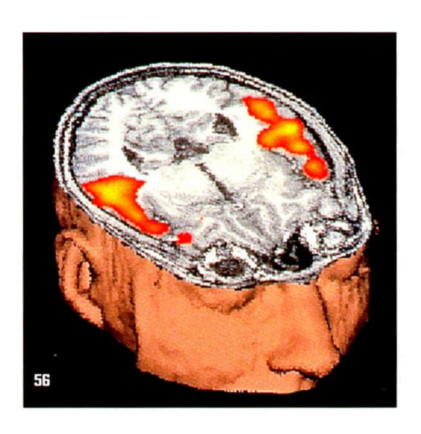
biologiques et s'étendent aux thérapies à mettre en œuvre, par exemple, les greffes étudiées dans un service de Saclay implanté à l'Hôpital Saint-Louis, le Laboratoire de recherches en hémato-immunologie.
Depuis 1995, le CEA assure la coordination des recherches en radiobiologie. Il a mis en place en 2001 le programme « Toxicologie nucléaire » qui vise à fédérer les efforts de recherche dans ce domaine. L'utilisation du potentiel technique issu de

55



l'instrumentation nucléaire et de l'usage des techniques de marquage radio-isotopiques permet, d'une part d'approcher *in vitro* la structure et le fonctionnement du vivant, et d'autre part d'explorer les organismes vivants sans en perturber les grands équilibres : c'est l'imagerie médicale.

À Saclay, la décennie est marquée par l'essor de la biologie structurale et de l'ingénierie des protéines dans le cadre du programme Protéines 2000, qui s'inscrit dans la logique du développement des nouvelles méthodes de marquage. L'ingénierie des protéines s'appuie sur un raffinement de ces méthodes, puisqu'il s'agit d'introduire au sein d'une protéine, c'est-à-dire dans un contexte structural complexe, les acides aminés adéquats qui feront jaillir chez cette protéine une activité biologique nouvelle. La protéine, en quelque sorte, devient « marquée » par une nouvelle fonction biologique. Stimulés par leur capacité à manipuler efficacement les protéines et à en analyser la structure, les chercheurs du CEA se sont orientés vers des objectifs ambitieux. Ils ont lancé des opérations d'ingénierie de peptides agissant sur l'hypertension, l'allergie et le SIDA. En particulier, les chercheurs ont réussi la greffe d'un ensemble d'acides aminés sur une petite architecture protéique naturelle, faisant de cette dernière un inhibiteur de l'infection par le virus du SIDA, dont la valorisation est en cours. Le CEA demeure donc un leader international dans le domaine du marquage, considéré au sens large, des objets biologiques complexes.


56

**54** : Phosphatase alcaline : La phosphatase alcaline bactérienne, remodelée par ingénierie génétique, constitue un outil performant pour détecter et doser des molécules d'intérêt biologique.
**55** : Laboratoire de haute sécurité microbiologique L3 pour l'étude du prion.
**56** : Imagerie cérébrale fonctionnelle des aires du langage observées par tomographie par émission de positrons.
**57** : Caméra d'imagerie par résonance magnétique (IRM).



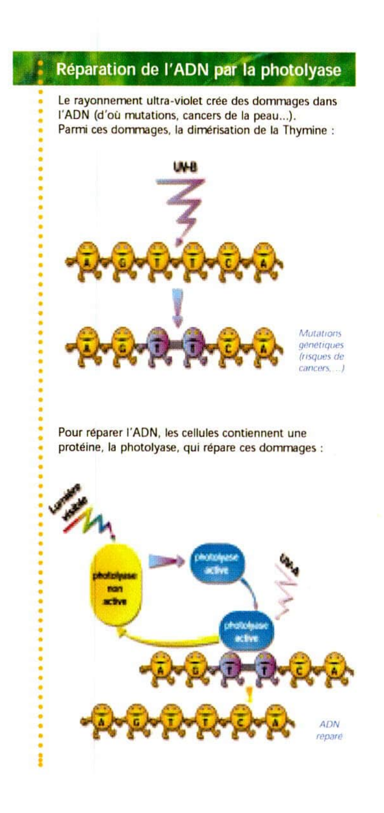
Au moment de la crise de la vache folle, le CEA profite encore de son acquis dans le domaine des protéines et de ses compétences uniques en matière de marquage et de détection pour développer très rapidement un test de dépistage *post mortem* de l'Encéphalopathie spongiforme bovine (ESB). Commercialisé par la société BIORAD, ce test est utilisé pour les campagnes de dépistage mises en œuvre en Europe sur des bovins de plus de 24 ou 30 mois. Il représente à l'heure actuelle près de 80 % des tests vendus dans le monde pour le dépistage systématique de l'ESB.

Les recherches s'orientent aujourd'hui vers le développement d'un test sanguin pour le diagnostic du nouveau variant de la maladie de Creutzfeldt-Jakob et d'un test sanguin de diagnostic de la tremblante ou de l'ESB chez le mouton. En avril 2001, un laboratoire de haute sécurité microbiologique de niveau 3 a été créé avec l'appui du GIS « infections à prions » (groupement d'intérêt scientifique réunissant plusieurs organismes de recherche). Inauguré en octobre 2001 par le ministre de la Recherche Roger-Gérard Schwartzenberg, ce nouveau laboratoire s'inscrit dans l'une des quatre priorités du plan gouvernemental de lutte contre l'ESB.

Au Service hospitalier Frédéric Joliot, les équipes du CEA disposent d'un plateau technique en imagerie isotopique et par résonance magnétique nucléaire unique en Europe. Ces outils offrent la possibilité d'observer *in vivo* des phénomènes biologiques comme le métabolisme, la neurotransmission ou même l'expression de gènes dans un organe. Ces méthodologies sont en particulier utilisées pour étudier le fonctionnement du cerveau humain et contribuent à donner une cartographie des fonctions cérébrales. En 2000, ces recherches et ces moyens ont contribué à des avancées cliniques majeures : l'essai clinique de traitement de la maladie d'Huntington par la greffe intracérébrale de neurones fœtaux ou

encore le traitement de l'insuffisance cardiaque par transplantation de cellules musculaires... Aujourd'hui, un deuxième cyclotron va être mis en service, il permettra la production de molécules marquées pour les besoins de la recherche mais aussi pour ceux des utilisateurs cliniques en cancérologie et en médecine nucléaire ou pour l'industrie pharmaceutique. Demain, un nouveau centre de neuro-imagerie en champ intense, réunissant les compétences des physiciens du DAPNIA et des neurobiologistes, sera installé à Saclay. Cet installation unique en Europe s'attachera à repousser à l'extrême les limites actuelles de l'exploration cérébrale.

Un programme biopuces a également été lancé en 1999 afin de réunir les différentes compétences dans ce domaine (puces à ADN, laboratoire sur puce, cellule sur puce, puces à protéines). Cette technologie, ouvre un champ d'applications immense : diagnostics de pathologies, suivis thérapeutiques, recherches de nouvelles molécules pharmaceutiques, contrôle qualité dans l'industrie agro-alimentaire... Elle représente, avec les molécules sondes capables d'acheminer très précisément un principe actif intact d'un médicament, l'avenir de la biologie et trace les grandes voies des recherches futures... Elle contribue au développement des nombreux partenariats industriels qu'entretient la Direction des sciences du vivant.

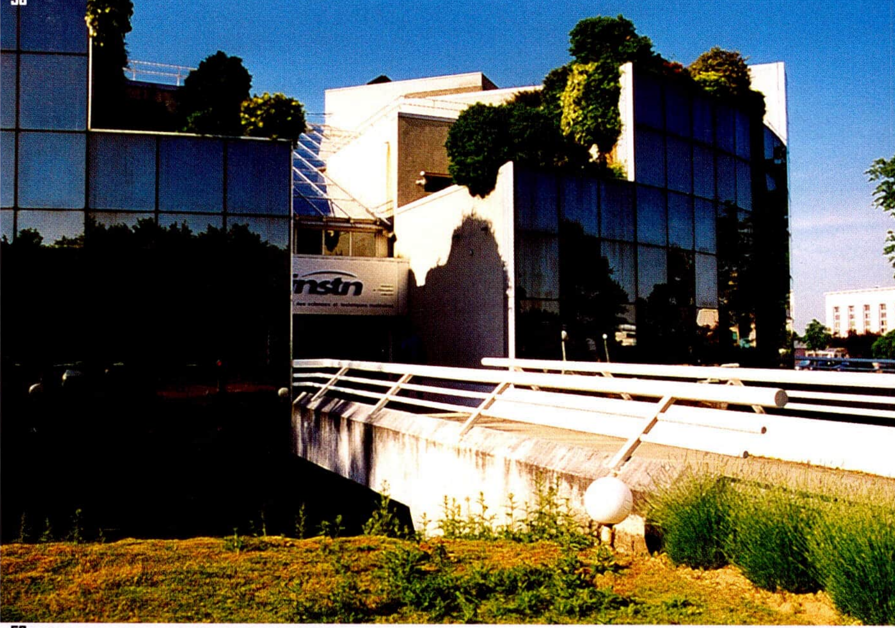



# L'INSTN à Saclay,

L'Institut national des sciences et techniques nucléaires contribue très largement au rayonnement de Saclay. Plus de 3 000 ingénieurs ont obtenu le diplôme de génie atomique depuis sa création en 1956 et exercent aujourd'hui dans tous les secteurs de l'énergie nucléaire en France et à l'étranger. Implanté à Saclay dans un ensemble agrandi et rénové en 1990, l'INSTN est aussi présent sur

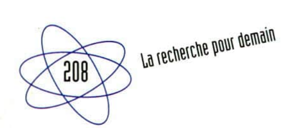
**58** : Entrée du siège de l'INSTN.
**59** : Vue aérienne de l'INSTN.
**60** : Travaux pratiques en salle informatique.

58




59





# le rayonnement d'un pôle de formation de référence

les autres grands sites du CEA où des antennes ont été ouvertes : Cadarache en 1976, Grenoble en 1978, La Hague en 1989, Marcoule en 1993. Partout, l'Institut s'appuie sur l'important potentiel scientifique et technique des laboratoires du CEA et propose des enseignements généralement en collaboration avec les universités.

L'activité s'articule toujours autour de deux pôles : l'enseignement supérieur et les sessions d'études. Dans le domaine de la formation supérieure, outre le cours de génie atomique qui reste un point fort, l'INSTN dispense des formations de troisième cycle en partenariat avec les universités : trente-six au total qui couvrent des domaines aussi variés que l'astrophysique, la physique fondamentale, la chimie, la biologie… Des efforts soutenus ont également été faits avec succès pour européaniser les formations. Ainsi l'INSTN est aujourd'hui reconnu par l'European Association for Nuclear Medicine comme centre européen de formation pour les enseignements de médecine nucléaire et assurera désormais la formation des médecins provenant de vingt-neuf pays membres. Dans le domaine de la radioprotection, un enseignement international est créé en partenariat avec six pays de l'Union européenne. De leur côté, les sessions d'études, qui s'inscrivent dans le cadre de la formation continue, s'adressent pour l'essentiel à des techniciens exerçant déjà une activité dans l'industrie nucléaire ou dans les services de médecine nucléaire des hôpitaux. En l'an 2000, l'INSTN, associé au CNAM, a ainsi accueilli plus de 8 800 participants dans environ 180 stages organisés.

En quelques années, l'éventail des formations s'est considérablement élargi et l'INSTN a dû s'adapter rapidement à cette évolution. Les activités de recherche, jadis importantes, ont progressivement disparu. En revanche, les responsables des enseignements ont consolidé leur métier d'ingénierie pédagogique. *« Notre métier est de proposer des formations, de concevoir des cours et de coordonner les enseignements donnés par les spécialistes pour être le plus réactif possible et s'adapter rapidement à toutes les demandes. La souplesse est la grande force d'une structure comme l'INSTN »*, précise le directeur Jean-Pierre Le Roux. Et l'Institut ne manque pas de perspectives. Il lui faut, en premier lieu, poursuivre le grand chantier de l'européanisation des cursus et ouvrir davantage son enseignement en liaison avec l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Association pour le développement l'enseignement nucléaire international (ADENI) créées en 1988. Il lui faut ensuite contribuer à endiguer la désaffection constatée depuis quelques années pour les sciences en général et pour le nucléaire en particulier. Dans cette optique, des actions concrètes sont mises en places. Deux nouvelles conventions ont ainsi été passées avec l'École polytechnique et l'École centrale de Paris permettant aux étudiants de suivre le cours de génie atomique durant leur dernière année. Une manière de sensibiliser les élèves des grandes écoles à toutes les possibilités offertes dans ce domaine. Mais ce n'est pas la seule : depuis de nombreuses années, des chercheurs de Saclay enseignent dans les grandes écoles et les universités de la région Île-de-France-Sud (Polytechnique, Centrale, Supélec, Université Paris Sud…) Enfin, l'INSTN met en place une formation interne au CEA de 360 heures pour initier les jeunes ingénieurs nouvellement recrutés à toutes les facettes du métier de chercheur nucléaire.





Proposer des solutions technologiques pour le développement de l'énergie nucléaire, intensifier ses recherches pour répondre aux préoccupations de la société, soutenir l'essor des nouvelles technologies en les appuyant sur la recherche fondamentale et contribuer à la mise en œuvre d'outils liés aux techniques nucléaires : Saclay joue un rôle de premier plan dans la réalisation de ces quatre principaux engagements énoncés dans le contrat d'objectifs 2001-2004. Grand centre scientifique, Saclay participe aussi à l'émergence de nouveaux domaines de recherche situés à l'interface de différentes disciplines (science des matériaux, imagerie médicale, biotechnologies...), des domaines où se révèle toute la capacité du CEA à proposer une recherche fondamentale établie sur une expertise scientifique internationale en interaction avec les développements technologiques.

Cette force est certainement l'un des plus beaux héritages du passé... Car c'est à partir de la cité atomique surgie il y a 50 ans que s'est élaborée une autre approche mêlant étroitement recherche fondamentale et développement technologique. Aujourd'hui, plus que jamais, Saclay apparaît comme l'un des grands établissements scientifiques où se nouent des liens entre les sciences, un lieu d'échange d'où émergent des projets au carrefour de plusieurs disciplines.

Ces 50 ans démontrent aussi l'exceptionnelle capacité de Saclay à faire évoluer en permanence ses recherches pour être en phase avec les demandes des pouvoirs publics et du monde industriel. Autour de son projet fédérateur, le nucléaire, le centre a su chaque fois rebondir, abandonner certaines études et les réorienter, en sachant valoriser des compétences pour de nouveaux projets, organiser la reconversion des hommes et des savoirs. Saclay s'est ainsi en permanence renouvelé tout en conservant son identité et en assumant les responsabilités qui lui incombent : être un lieu de veille, d'imagination, d'innovation, d'expertise, de mémoire aussi...

Saclay et le CEA sont aujourd'hui une fois de plus à la croisée des chemins avec une vision du futur à bâtir dans le domaine de l'énergie, et plusieurs voies à explorer. Et Saclay, plus que tout autre centre du CEA, doit être la source des idées neuves qui s'imposeront demain, celles qui irrigueront les sciences et technologies du futur.



# Annexes

## Les administrateurs généraux

| | |
|---|---|
| 1946-1951 | Raoul Dautry |
| 1951-1958 | Pierre Guillaumat |
| 1958-1963 | Pierre Couture |
| 1963-1970 | Robert Hirsch |
| 1970-1978 | André Giraud |
| 1978-1983 | Michel Pecqueur |
| 1983-1986 | Gérard Renon |
| 1986-1989 | Jean-Pierre Capron |
| 1989-1995 | Philippe Rouvillois |
| 1995-1999 | Yannick d'Escatha |
| depuis 1999 | Pascal Colombani |

## Les hauts-commissaires

| | |
|---|---|
| 1946-1950 | Frédéric Joliot-Curie |
| 1951-1970 | Francis Perrin |
| 1970-1975 | Jacques Yvon |
| 1975-1993 | Jean Teillac |
| 1993-1998 | Robert Dautray |
| depuis 1998 | René Pellat |

## Les directeurs de centre

| | |
|---|---|
| 14 juillet 1951 – 28 février 1954 : | Jules Guéron |
| 1er mars 1954 – 21 février 1971 : | Jean Debiesse |
| 22 février 1971 – 10 août 1975 : | Paul Bonnet |
| 11 août 1975 – 30 septembre 1978 : | Emmanuel Grison |
| 1er octobre 1978 – 27 mars 1983 : | Claude Chauvez |
| 28 mars 1983 – 16 décembre 1984 : | Paul Mirat |
| 17 décembre 1984 – 15 septembre 1988 : | Philippe Sachnine |
| 16 septembre 1988 – 12 novembre 1990 : | Paul Delpeyroux |
| 13 novembre 1990 – 31 octobre 1993 : | Jean Bazin |
| 1er novembre 1993 – 14 mars 2000 : | Éliane Loquet |
| depuis 15 mars 2000 : | Jean-Pierre Pervès |

## Les principales installations

| | | |
|---|---|---|
| 1952 | Juin | Mise en service de l'accélérateur Van de Graaff |
| | 21 octobre | Démarrage de la pile EL2 |
| 1953 | | Mise en service du cyclotron à Saclay |
| 1955 | | Mise en service des Laboratoires de haute activité |
| 1956 | 18 juin | Création de l'INSTN |
| 1957 | 4 juillet | Divergence de la pile EL3 |
| 1958 | 12 août | Mise en service du synchrotron Saturne |
| 1959 | 9 avril | Inauguration du Service hospitalier Frédéric Joliot (SHFJ) implanté dans l'hôpital d'Orsay |
| | | Ouverture du Laboratoire d'examen des combustibles irradiés |
| 1963 | 15 mars | Premier fonctionnement du Van de Graaff tandem |
| 1966 | | Mise en service d'Osiris |
| 1969 | 19 février | Inauguration de l'Accélérateur linéaire de Saclay (ALS), à l'Orme des Merisiers |
| 1970 | 26 juin | Inauguration du Laboratoire d'analyse par activation Pierre Süe |
| 1974 | 2 décembre | Création du Laboratoire Léon Brillouin |
| 1976 | | Inauguration du cyclotron du SHFJ |
| 1978 | | Mise en fonctionnement de Saturne II |
| 1980 | | Mise en service d'Orphée |
| 1982 | | Inauguration du Grand accélérateur national d'ions lourds (Ganil), à Caen |
| 1983 | | Inauguration du Laboratoire souterrain de Modane |
| 1990 | | Inauguration de l'installation Tamaris |
| 1992 | | Laboratoire de modélisation du climat et de l'environnement |
| 1997 | | Mise en service du pilote de séparation isotopique laser (ASTER) |
| 2001 | | Mise en service de l'installation SAPHIR, de l'injecteur de protons de haute intensité (IPHI) |
| | 11 octobre | Inauguration du Laboratoire de haute sécurité microbiologique « L3 » |

## Les centres

| | |
|---|---|
| 1946 | Fontenay-aux-Roses |
| 1952 | Saclay |
| 1955 | Marcoule |
| | Vaujours |
| | Bruyères-le-Châtel (B III) |
| 1957 | Valduc |
| 1959 | Grenoble |
| 1960 | Limeil |
| 1963 | Cadarache |
| | Le Ripault |
| | Pierrelatte |
| 1965 | Cesta |

## Les usines

| | |
|---|---|
| 1952 | Mise en route de l'usine de concentration des minerais du Bouchet |
| 1955 | Construction de l'usine de traitement des combustibles irradiés à Marcoule |
| 1962 | Mise en fonctionnement du pilote industriel de Pierrelatte |
| 1966 | Mise en service de l'usine d'extraction de Plutonium de La Hague et de l'usine d'enrichissement de l'uranium de Pierrelatte |

## Les filiales

| | | |
|---|---|---|
| 1965 | Avril | Création d'Infratome (CEA-PEC) pour la gestion des déchets |
| 1969 | Octobre | Constitution d'Uranex, GIE pour la commercialisation de l'uranium |
| 1972 | Février | Création de la CISI |
| 1972 | Juin | Création de Technicatome |
| 1972 | Août | Création d'Efcis (Études et fabrication des circuits intégrés spéciaux) |
| 1973 | 24 juillet | Création d'Ecopol, filiale CEA/SERETE pour la prévention et le traitement des nuisances |
| | Novembre | Création d'Eurodif |
| 1974 | | Création d'Intercontrôle |
| 1975 | 12 mai | Création de Sofratome (CEA/EDF) |
| 1976 | Janvier | Création de la Compagnie générale des matières nucléaires (Cogema) |
| 1976 | Novembre | Création de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) |
| 1976 | Novembre | Création de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) |
| 1983 | Décembre | Création du holding CEA-Industrie |
| 1985 | Janvier | Constitution de la compagnie Oris-Industrie. |
| 2001 | | Création d'Areva |
| 2001 | | Création de l'IRSN |



# Bibliographie sélective


Anatole Abragam, *De la physique avant toute chose*, Odile Jacob, 1987.
Michel Avril, *Raoul Dautry, la passion de servir*, France Empire, 1993.
Rémi Baudouïn, *Raoul Dautry, le technocrate de la république 1880-1951*, Balland, 1992.
René Bimbot, André Bonin, Robert Deloche, Claire Lapeyre, *Cent ans après la radioactivité. Le rayonnement d'une découverte*, EDP Sciences, 1999.
Rémy Carle, *L'Électricité nucléaire*, « Que-Sais-Je », Paris PUF, 1993.
Jean Damien, *Les Activités militaires du CEA*, Fondation pour la recherche stratégique, Ellipse 2001.
Jean-Pierre Daviet, *Eurodif, histoire de l'enrichissement de l'uranium, 1973-1993*, Fonds Mercator, 1993.
« Des Soviets à Saclay ? », François Maspero, *Cahiers libres 127*, 1968.
Framatome, *Du bureau d'ingénierie nucléaire au groupe international*, Albin Michel, 1995.
*Deuxième colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Conservatoire national des arts et métiers, Paris, avril 1990.
Bertrand Goldschmidt, *Pionniers de l'atome*, Stock, 1987.
Bertrand Goldschmidt, *Les Rivalités atomiques (1939-1966)*, Fayard, 1967.
Georges et Maurice Guéron, *Jules Guéron 1907-1990, aperçu d'une vie en mutation*, 1991.
Vladimir Halperin, *Raoul Dautry, Du rail à l'atome*, Paris, fayard, 1997.
François Jacqu, *Pratiques scientifiques, formes d'organisation et représentations politiques de la science dans la France d'après-guerre. La politique de la science comme énoncé collectif (1944-1962)*, thèse de doctorat de l'École nationale supérieure des mines de Paris, 1996.
Louis Leprince-Ringuet, *Noce de diamant avec l'atome*, Flammarion, 1991.
Véronique Lefebvre et Félix Torres, *Chooz de A à B, une histoire de la filière à eau pressurisée*, EDF, 1996.
Noëlle Loriot, *Irène Joliot-Curie*, Presse de la Renaissance, 1991.
Marie-José Lovérini, *Le Commissariat à l'énergie atomique*, CEA, 1995.
Michel Pinault, *Frédéric Joliot-Curie*, Odile Jacob, 2000.
Michel Pinault, *Frédéric Joliot-Curie, la science et la société, un itinéraire de la physique et la politique nucléaire*, Thèse de doctorat de l'université Paris I Panthéon-Sorbonne, 1999.
*Pierre Guillaumat, La Passion des grands projets industriels*, sous la direction de Georges Henri Soutou et Alain Beltran, *Institut d'histoire de l'industrie*, Rive Droite, 1995.
Sophie Queran, *les cadres scientifiques au CEA des Centres d'études nucléaires de Fontenay-aux-Roses et de Saclay. 1946-1968*, Mémoires de maîtrise Université Paris I Panthéon-Sorbonne, 2001.
*1972-1997*, Technicatome, 1997.
*La France et l'atome, étude d'histoire nucléaire*, sous la direction de Maurice Vaïsse, Bruxelles, Grefhan, Bruylant, 1994.
Spencer Weart, *La Grande Aventure des atomistes français, les savants au pouvoir*, Fayard, 1980.
Marcel Zahar, *Une doctrine d'architecture, Auguste Perret*, Vincent, Fréal et Cie, 1959.


## Rapports, publications, études CEA


*CEA Saclay, le journal du cinquantenaire*, CEA, 1995.
Actes des colloques du 50e anniversaire du CEA, tomes I, II, III, CEA,1997.
1945-1995, *Le CEA a cinquante ans, Les défis du CEA*, septembre octobre 1995, n° 41.
Jean-Claude Carré, *Esquisse d'un précis d'histoire du DEMT/DMT* (1975-1992)
*Du fort de Châtillon au CEA de Fontenay-aux-roses*, CEA, 1996.
*Hommages à Francis Perrin*, (1994), Jules Horowitz (1996), Jules Guéron (1992), Jean Teillac (1994), Georges Bosse (1996).
*L'Œuvre de Jules Horowitz*, préface de Robert Dautray, CEA, 1999.
*Institut de recherche fondamentale, 40 ans de recherche*, CEA, 1985.
*Institut de recherche fondamentale, au-delà de 40 ans de recherche 85-89*, CEA, 1989.
*Recherche fondamentale en physique chimie, Direction des sciences de la matière*, CEA, 1995.
*Repères chronologiques de l'histoire nucléaire, 1896-1995*, CEA, 1995.
*Si Vaujours m'était conté*, DAM, CEA, 1998.
*Jacques Yvon*, œuvres complètes, volume I, CEA, 1985.


# Archives


*Le centre de Saclay, inventaires et visites officielles, relations publiques, 1956-1965*, Inventaire réalisé par Véronique Jardinier.
*Le centre de Saclay, inventaires et visites officielles, relations publiques, 1961-1994*, Inventaire réalisé par Véronique Jardinier.
*Répertoire du fonds photographique Pierre Jahan CEA*, mémoire de DESS de technique d'archives et de documentation, Christelle Dubas, 1998.
*Les Échos du CEA* depuis 1965 et Les journaux *Passerelles*, *CEA Saclay le journal*, *Clefs CEA*.
Archives des comités scientifiques 1946-1950, service archives du CEA.
Archives de la DSM (Lucile Arnaudet).
Archives nucléaires (Stéphane Droulier).
Les rapports annuels du CEA 1946-2000.
La collection complète de brochures de présentation et rapports généraux sur Saclay.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay*, Service de documentation du CEA, 1952.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay*, Service de documentation du CEA, 1954.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay*, Service de documentation du CEA, 1955.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay*, Service de documentation du CEA, 1956.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay et l'Institut national des sciences et des techniques nucléaires*, Service de documentation du CEA, 1958.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay et l'INSTN*, SNAP Édition, 1959.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay et l'INSTN*, Édition Artistique, 1962.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay et l'INSTN*, Édition Brun, 1964.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay et l'INSTN*, Édition Brun, 1968.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay et l'INSTN*, CEA, 1975.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay et l'INSTN*, CEA, 1979.
*CEA Le centre d'études nucléaires de Saclay et l'INSTN*, CEA, 1987.
*CEA Saclay*, CEA 1996.

# Listes des personnes rencontrées

Anatole Abragam, Albert Amouyal, Daniel Bastien, Jacques Bouchard, Yves Bourlat, Jean-Louis Boutaine, Jean Chatoux, Yves Chelet, Jean Coursaget, Claude-Marie Cotton, Robert Deloche, Christian Desmoulins, Georges Devic, Pierre Fromageot, François Gounand, Emmanuel Grison, Marcel Jacquemet, Claude Kellershohn, Jacques Labeyrie, Jean-Pierre Le Roux, Marie-José Loverini, François Morel, Jean-Pierre Perves, Gérard Pinard-Legry, Pierre Plurien, Jean Rastoin, Étienne Roth, Émile Roussel, Jean-Pierre Schwartz, Maurice Surdin, André Syrota, Bernard Thévenet, Jean-Baptiste Thomas, Yves Tigeot, René Turlay, Georges Vendryes, Jacky Weill.

L'auteur et l'Unité communication et affaires publiques du centre CEA de Saclay tiennent tout particulièrement à remercier l'Association des retraités ainsi que l'ensemble des personnes qui ont apporté leur concours à cet ouvrage.



# Crédits photographiques

AFP : p. 52h
Apple Computer, France : p. 16
Archives Curie et Joliot-Curie : p. 21
Atelier d'architecture Chaix et Morel et Associés (AACMA) : p. 202
Boyer-Viollet : p. 53
Cap-Viollet : p. 40g
CEA : p. 12, 13, 20h, 20bc, 22, 23h, 24, 27, 29b, 31, 33b, 34b, 35, 36, 37, 38bd, 39, 47hd, 48, 50bd, 51b, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 64-65, 66, 67, 70, 71, 72g, 75, 78, 79hg, 79cb, 83, 85bd, 87, 88-89, 90, 92, 96g, 98bg, 98bc, 101, 103, 107, 110, 111, 112, 116h, 117, 130-131, 132h, 133, 138, 142b, 144, 151, 154, 156, 167bg, 169b, 178bd, 181, 182, 187bg, 192d, 193h, 194h, 194bg, 194bc, 195, 198bg, 198bd, 201h, 203bg, 203bc, 204, 205h, 206, 207b, 208h, 209
CEA/Biaugeaud : p. 20bg
CEA/J.J.Bigot : p. 161h, 161b, 198h, 200h, 201b
CEA/Dapnia : p. 132bc
CEA/ESA : p. 198bc, 203h
CEA/Faugere : p. 193b
CEA/Gin : p. 207h
CEA/Gonin : p. 16, 93, 169hg, 169hd, 205b
CEA/P. Jahan : p. 14, 15, 30, 69, 82bd, 99, 100, 105bg, 108b, 122b, 123, 135, 157,164, 165
CEA/Jean-Baptiste : p. 17
CEA/Laugée : p. 105hd
CEA/Legendre : p. 68
CEA/Le Trident/C. Baulard : p. 23b
CEA/Mazo : p. 73, 76bd
CEA/Mercier : p. 66bg
CEA/L. Nicolas et T. Locatelli : p. 190
CEA/Otto et Pirou : p. 25
CEA/Paris-Match : p. 77
CEA/P. Pierangeli : p. 187h, 187bd
CEA/E. Roth : p. 113bg, 113d, 115
CEA/Saclay/DR : p. 12, 13, 14, 26, 28, 29h, 29c, 34h, 50h, 72d, 74b, 76g, 80, 81, 82bg, 86, 94, 95b, 98h, 98bd, 102, 104, 105, 108h, 109, 113hg, 116b, 119, 120, 121, 122h, 124b, 132bg, 137, 139, 143, 148, 152, 153, 155, 158, 159, 161c, 162, 163, 167h, 167d, 170c, 173, 178h, 178bc, 178bg, 179, 183, 184, 186, 188bg, 188bc, 189, 191, 192g, 196, 197, 200b, 208b
CEA/SCA : p. 40d
CEA/J.P.Sudre : p. 85h, 120-121
CEA/C. Theisen : p. 203bd
CERN : p. 106, 160
CNES : p. 17
CNRS : p. 42d
Gogema : p. 132bd
Collection Madame Horowitz : p. 33h
EDF : p. 82bc, 91, 96d, 97, 136
EDF/H. Baranger : p. 82h
EDF/P. Béranger : p. 142h, 146-147
EDF/M. Brigaud : p. 12, 14, 128d
EDF/C. Cieutat : p.146b
EDF/G. Liesse : p. 188bd
EDF/M. Morceau : p. 188h
EDF/C. Pauquet : p. 149
EDF/J.C. Raoul : p. 128g
EDF/D. Riffet : p. 85g
Éditions Blake et Mortimer/Studio Jacobs (nv Dargaud-Lombard sa)-2002 by E.P.Jacobs : p. 175
ESA : p. 199
France Télécom : p. 17
P. Frilet : p. 134
Gamma : p. 15, 16, 171, 174, 176-177
Gamma/F. Apesteguy : p. 16
Gamma/G. Bassignac : p. 16
Gamma/G. Bouquillon : p. 17
Gamma/B. Charlon : p. 170bd
Gamma/Deville-Lebrun : p. 16
Gamma/M. Frisson : p. 16
Gamma/D. Halstead : p. 170
Gamma/A. Morvan : p. 17
Gamma/Xavier Rossi : p. 15, 17
Gamma/Schone : p. 16
F. Haraux : p. 17
Hoa-Qui/C. Sappa : p. 114h
IFA/DAF : p. 44, 45, 47c, 49, 51h
Keystone : p. 12, 13, 14, 20bd, 50b, 52bg, 52bc, 62, 63, 78bd, 79cg, 79bg, 79hd, 79bd
Lapi-Viollet : p. 18
Magnum : p. 150
Ministère de la Culture/Studio Harcourt : p. 47bg
Musée de la Poste : p. 76hd
NASA : p. 14, 15, 114b
ND-Viollet : p. 12
ONERA : p. 38b, 38bc
PSA Peugeot Citroën/Direction de la communication : p. 194bd
RATP-ND : p. 41
Renault communication : p. 17
Roger-Viollet : p. 38h, 47hg, 95h
Société Bic/Adagp, Paris 2002 : p. 12
C. Vignal : p. 127

Nous remercions pour le soutien qu'ils ont apporté à l'iconographie de ce livre :
Paul Andreu
Orianne Arnould (CNES)
Moïsette Augier (Musée de la Poste)
Marie Bacquet (CNRS)
Marie-Claude Biguier (Musée de la Poste)
Lenka Brochard (Association Curie et Joliot-Curie)
Philippe Carron (RATP)
Frédéric Chèvre (IFA)
Alain Combet
Elisabeth Fedit (ONERA)
Francis Haraux
Jeanne Horowitz
Nadia Imbert-Vier (ESA)
Serge Markó
Santhi Pascal (EDF)
Pierre Praquin
Christine Sutton (CERN)

**Réalisation** :
Public Histoire, 6 rue Gager-Gabillot 75015 Paris
Direction d'étude et rédaction : Véronique Lefebvre

**Direction de Publication** :
Jean-Pierre Pervès
**Unité communication et affaires publiques centre de Saclay** :
Yves Bourlat
**Responsables du projet** :
Guillaume Fusai et Anne-Marie Gendre-Peter

**Comité de pilotage** :
Jean Bazin, Jean Bliaux, Gilles Cohen-Tannoudji, Stéphane Droulier,
Guillaume Fusai, Chantal Fuseau, Annemarie Gendre-Peter,
Nicole Roinel, Thierry Roll, Edgar Soulié

**Comité de lecture** :
Jean Bazin, Philippe Bergeonneau, Jean-Paul Blaizot, Jean Bliaux,
Jacques Bros, Eric Capelle, Gilles Cohen-Tannoudji, Claude-Marie Cotton,
Daniel Cribier, Emmanuel Grison, Alain Hoffmann, Etienne Klein,
André Ménez, Bertrand Mercier, Irène Nenner,
Jean-Pierre Pervès, Nicole Roinel, Etienne Roth, Christian de Rouffignac,
André Sentenac, Edgar Soulié, Jean-Baptiste Thomas

**Suivi éditorial** :
Catherine Aygalinc pour le cherche midi

avec la participation du CEA pour l'iconographie :
Delphine Vidart-Dufort, Josy Roussey (Service Archives,
Fontenay-aux-Roses), Annick Billaud (photothèque de
la Direction de la communication et des affaires publiques, Paris),
Lucile Arnaudet (Direction des sciences de la matière, Saclay),
Chantal Fuseau (Unité communication et affaires publiques, Saclay).

**Conception graphique et réalisation** :
Corinne Liger-Marie

Imprimé en France
**Photogravure** :
Planète Graphique
**Impression et reliure** : **n° L87857**
Pollina
Dépôt légal : Octobre 2002
N° d'édition : 029
ISBN : 2-74910-029-1

Un lieu unique et mondialement connu où se côtoient prix Nobel et étudiants, chercheurs, ingénieurs, techniciens, et où cohabitent recherche fondamentale et expérimentation concrète : le CEA (Commissariat à l'énergie atomique) de Saclay.

# Au cœur de la matière

L'histoire du site de Saclay nous permet de revivre cinquante années d'évolution scientifique, technologique et industrielle depuis la décision de création du CEA en 1945 par le général de Gaulle. Un demi-siècle de recherches consacrées à de multiples domaines primordiaux comme les mathématiques, la physique fondamentale et appliquée, la chimie, la biologie, la médecine ou la climatologie. Cinquante années enfin, pour « réinventer » le soleil en produisant une énergie inépuisable et se rassembler autour d'un vrai projet fédérateur : la recherche nucléaire. Une réussite scientifique et industrielle, au cœur des débats et des enjeux de notre société depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale.


917708-8
ISBN 2-74910-029-1
9 782749 100296

36 € / 236,14 F

Couverture : Corinne Liger-Marie

le cherche midi